

**SINIRLI BAKIŞ DURUMUNDA ARA-İMGE
SENTEZLEME**

Yüksek Lisans Tezi

Serhan GÜRMERİÇ

Eskişehir 2019

SINIRLI BAKIŞ DURUMUNDA ARA İMGE SENTEZLEME

Serhan GÜRMERİÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ömer Nezih GEREK

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Temmuz 2019

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Serhan Gürmeriç'in “Sınır Bakış Durumunda Ara-İmge Sentezleme” başlıklı tezi 08/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvanı Adı Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Prof. Dr. Ömer Nezih Gerek

Üye : Prof. Dr. Hakan Çevikalp

Üye : Doç. Dr. Cihan Kaleli

Prof. Dr. Murat TANIŞLI
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

FINAL APPROVAL FOR THESIS

This thesis titled “Inter-frame synthesis between limited views” has been prepared and submitted by Serhan Gürmeriç in partial fulfillment of the requirements in “Eskişehir Technical University Directive on Graduate Education and Examination” for the Degree of Master of Science in Computer Engineering Department has been examined and approved on 08/07/2019.

<u>Committee Members</u>	<u>Title, Name and Surname</u>	<u>Signature</u>
Member (Supervisor) :	Prof. Dr. Ömer Nezih Gerek	
Member :	Prof. Dr. Hakan Çevikalp	
Member :	Assoc. Prof. Dr. Cihan Kaleli	

Prof. Dr. Murat TANIŞLI
Director of Institute of Graduate Programs

ÖZET

SINIRLI BAKIŞ DURUMUNDA ARA-İMGE SENTEZLEME

Serhan GÜRMERİÇ

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Temmuz 2019

Danışman: Prof. Dr. Ömer Nezih GEREK

Bu çalışma kamera barındıran nesnelerin fonksiyonlarını daha da geliştirmek için başlatılmıştır. Görüntüleme cihazlarının sınırlı bakış açılarından aldıkları görüntülerden daha fazla bilgi edinmek için yöntemler uygulanmıştır. Farklı iki bakış açısından edinilen resimlerle diğer ara görüntülerin oluşturulması hedeflenmiştir.

Farklı iki görüntü arasında matematiksel bir bağ kurabilmek amacıyla işaretleyici kareler kullanılmıştır. Karelerin görüntüler içerisinde otomatik bulunması, kameraların pozisyonlarının hesaplanabilmesini sağlamıştır. Ara görüntülerin sentezlenebilmesi için resimler üzerinde anahtar noktalar bulunmuştur. Bu noktaların bulunması için AKAZE, SURF, BRISK, ORB gibi farklı yöntemler incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Bulunan noktaların farklı iki resim arasındaki bağlarının oluşturulması amacıyla Brute Force ve FLANN tabanlı eşleyici algoritmalar kullanılmıştır. Bu iki algoritmanın başarımları konusunda inceleme ve değerlendirme ilgili bölümlerde bulunabilir.

Ara görüntülerin hesaplanması için iki resimden elde edilecek derinlik algısına ihtiyaç vardır. Bu hesaplama için epipolar geometri kuralları kullanılmıştır. Bilgi edinilemeyen görüntü alanları için bilinen noktaların üç boyutlu interpolasyon metotları ile gerçekteki nesnelere yaklaşım sağlanmaktadır. Böylece fotoğraflardaki nesnelerin üç boyutlu yapıları mümkün olduğunca tekrar oluşturularak farklı bakış görüntüleri oluşturulabilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Görüntü, Sentezleme, Epipolar, Kamera, Yeniden yapılandırma

ABSTRACT

INTER-FRAME SYNTHESIS BETWEEN LIMITED VIEWS

Serhan GÜRMERİÇ

Department of Computer Engineering

Graduate School of Eskişehir Technical University, July 2019

Supervisor: Prof. Dr. Ömer Nezih GEREK

This study was started to improve functionality of devices which have imaging sensor. Methods have been applied to have more information about images taken from limited view angles by imaging devices. It's aimed to synthesis inter frames from two images taken from two different point of views.

Square markers have been used to be able to create a mathematical relation between two different images. Automatic detection of the markers in images has let us to calculate positions of cameras. Key points have been detected on base images to synthesis of inter frames. Some different key point detection methods such as AKAZE, SURF, BRISK, ORB have been evaluated and compared.

Detected points have been matched by Brute Force and FLANN based matching algorithms to calculate relations between two different base images. Inspection and evaluation of success of these two algorithms can be found in related sections of this document.

Depth information has been calculated from two base images is needed to generate inter frames. Epipolar geometry rules have been used for this calculation. 3D interpolation methods based on well-known points have been used to get estimation of image areas that have no information to approach meshes of scene objects. Therefore, 3D structures of scene objects in images have been reconstructed as much as possible from base images that have been taken from different point of views.

Keywords: Vision, Synthesis, Epipolar, Camera, Reconstruction

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....
Serhan GÜRMERİÇ

STATEMENT OF COMPLIANCE WITH ETHICAL PRINCIPLES AND RULES

I hereby truthfully declare that this thesis is an original work prepared by me; that I have behaved in accordance with the scientific ethical principles and rules throughout the stages of preparation, data collection, analysis and presentation of my work; that I have cited the sources of all the data and information that could be obtained within the scope of this study, and included these sources in the references section; and that this study has been scanned for plagiarism with “scientific plagiarism detection program” used by Eskişehir Technical University, and that “it does not have any plagiarism” whatsoever. I also declare that, if a case contrary to my declaration is detected in my work at any time, I hereby express my consent to all the ethical and legal consequences that are involved.

.....
Serhan GÜRMERİÇ

TEŞEKKÜRLER

Prof. Dr. Ömer Nezir Gerek
Prof. Dr. Hakan Çevikalp
Doç. Dr. Cihan Kaleli
Doç. Dr. Yakup Genç
Dr. Murat Duruş
Dr. Gözde Gül İşgüder
Dr. Gang Li
Barış Can Çam
Ayşegül Gürmeriç
Gülgün Bulut
Nursen Aydın
Nils Karlsson

Serhan Gürmeriç

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
FINAL APPROVAL FOR THESIS	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
STATEMENT OF COMPLIANCE WITH ETHICAL PRINCIPLES AND RULES	vii
TEŞEKKÜRLER.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
TABLolar VE ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
GÖRSELLER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. AMAÇ	2
3. YÖNTEM.....	3
3.1. Kullanılan Teknolojiler.....	3
3.2. Adımlar.....	4
3.3. Kamera Kalibrasyonu ve Pozisyon Hesaplama.....	5
3.3.1. İç kamera kalibrasyonu.....	6
3.3.2. Dış kamera kalibrasyonu	7
3.4. Görüntü İyileştirme İşlemleri.....	9
3.5. Anahtar Noktalar	12
3.6. Görüntüler Arası Anahtar Nokta Eşleme	13
3.7. Noktaların 3 Boyutlu Pozisyonlarının Bulunması.....	16
3.8. Üçgenleştirme ve Delaunay Algoritması	19

3.9. Kaplama Resmi Oluşturulası ve U,V Koordinatlarının Hesaplanması	20
3.10. 3 Boyutlu Model ve Yüzey Normallerinin Hesaplanması.....	21
3.11. Kamera Matrisleri Arası İnterpolasyon ve Render	25
4. ÇALIşMADAN GÖRSEL ÖRNEKLER	28
5. SONUÇ, TARTIşMA VE ÖNERİLER	30
5.1. Sonuç.....	30
5.2. Tartışılan Konular	30
5.3. Öneriler ve Geliştirilebilirlik.....	31
KAYNAKÇA	33

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AKAZE: Hızlandırılmış KAZE anahtar nokta ve tanımlayıcı bulma algoritması.

BRISK: Ölçeklenmeden etkilenmeyen ikili anahtar nokta ve tanımlayıcı bulma algoritması.

ORB: FAST ve BRIEF yöntemlerini birleştiren anahtar nokta ve tanımlayıcı bulma algoritması.

SURF: Hızlı anahtar nokta ve tanımlayıcı bulma algoritması.

FLANN: Yakın komşulukarı tahminleyererek çalışan eşleme algoritması

BF: Kaba kuvvet eşleme algoritması

TABLolar VE ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1. Planlanan Adımlar	4
Tablo 3.2. Farklı yöntemlerle bulunan toplam anahtar nokta sayıları	12
Tablo 3.3. Anahtar noktaların farklı yöntemlerle bulunma süreleri (s)	13
Tablo 3.4. SURF ile bulunan anahtar nokta ve tanımlayıcıların farklı yöntemlerle eşleşme süreleri	14
Tablo 3.5. Eşleşme işlemi başarılı olmuş anahtar noktaların sayıları	15
Tablo 3.6. Çeşitli yöntemlere göre eşleşme işlemi hatalı anahtar noktaların sayıları.....	15
Tablo 3.7. Farklı yöntemlerle bulunmuş eş noktalarla oluşturulan üçgen alanların toplamı (pixel ²).....	20

GÖRSELLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Görsel 3.1. ArUco kalibrasyon tahtası kullanılarak iç parametre hesaplanması.....	6
Görsel 3.2. Marker bulma işlemi sonucu	8
Görsel 3.3. Kenar bulma filtresi ve markerın ortaya çıkması	8
Görsel 3.4. Resim üzerinde lens bozulması etkilerinin çeşitleri	9
Görsel 3.5. Yüksek lens bozulması oluşmuş görüntü örneği	10
Görsel 3.6. Lens hatası bulunan ham resim	11
Görsel 3.7. Resmin kamera iç parametrelerine göre düzeltilmiş hali	11
Görsel 3.8. Deney seti 4 için AKAZE algoritmasının bulduğu anahtar noktalar.....	13
Görsel 3.9. Deney seti 4 için Brute Force algoritması eşleştirme örneği.....	14
Görsel 3.10. Epipolar geometride farklı iki görüntü üzerinde oluşan noktalar ve ilişkileri	16
Görsel 3.11. İki resimde seçilmiş bir eş nokta setinin 3. boyutta koordinatının	17
Görsel 3.12. İki resimde seçilmiş bir eş nokta setinin 3. Boyutta koordinatının bulunması 2. Örnek.....	18
Görsel 3.13. Delaunay algoritmasından çıkan ve eşleşen anahtar noktaları köşeleyen bileşik üçgen alanlar	19
Görsel 3.14. 3 boyutlu sahne oluşumunda kullanılacak kaplama resimlerinin üçgen alanların sınır kutularıyla belirlenmesi	20
Görsel 3.15. Toplanan bilgiler sonucu oluşturulan 3 boyutlu yapının render edilmiş görüntüsü	22
Görsel 3.16. Temel resmin kameradan bilinmeyen bölgeleri renklendirme amaçlı projeksiyonu	22
Görsel 3.17. 3 boyutlu nesne üzerinde hesaplanan normal vektörleri	23
Görsel 3.18. Işıklandırma hakkında 1. Örnek	24
Görsel 3.19. Işıklandırma hakkında 2. Örnek	24
Görsel 3.20. $t=0$ için hesaplanmış kamera matrisi ile sentezlenmiş görüntü	25
Görsel 3.21. $t=0.15$ için hesaplanmış kamera matrisi ile sentezlenmiş görüntü	26
Görsel 3.22. $t=0.35$ için hesaplanmış kamera matrisi ile sentezlenmiş görüntü	26

Sayfa

Görsel 3.23. $t=0.65$ için hesaplanmış kamera matrisi ile sentezlenmiş görüntü	26
Görsel 3.24. $t=0.85$ için hesaplanmış kamera matrisi ile sentezlenmiş görüntü	27
Görsel 3.25. $t=1$ için hesaplanmış kamera matrisi ile sentezlenmiş görüntü	27
Görsel 3.26. Deney seti 2 için BRISK anahtar bulma ve BF eşleştirme sonucu	28
Görsel 3.27. Deney seti 2 için AKAZE+BF ile oluşturulmuş ara imge üzerine yüzey ve normal bilgisi.....	28
Görsel 3.28. Deney seti 2 için BRISK+BF ile oluşturulmuş ara imge üzerine yüzey ve normal bilgisi.....	28
Görsel 3.29. Deney seti 3 için AKAZE+FLANN ile oluşturulmuş render üzerine yüzey-normal bilgisi	29
Görsel 3.30. Deney seti 4 için SURF+BF ile ortaya çıkan hatalı eşleşme bozulmaları	29
Görsel 3.31. Deney seti 4 için AKAZE+FLANN ile oluşturulmuş render üzerine yüzey-normal bilgisi	29

1. GİRİŞ

Hayatımıza son on yıldır etkin katkısı olan ve üçüncü bir göz olduğunu söyleyebileceğimiz dijital kamera barındıran cihazların daha işlevsel hale getirilmesi konusunda halen önemli eksiklikler vardır. Bu nesnelerin sınırlı kapasitelerini çevredeki bilgiyi daha iyi işleyen algoritmalarla güçlendirmek önemli fayda getirecektir.

Günümüzde çeşitli ürünlere entegre olan akıllı cihazlar veya mobil nesnelerin beraberinde getirdiği fonksiyonlarının önemli düzeyde ilerlemesi yeni teknolojilerin önünü açmıştır. Artık yeni bir ev eşyası veya mobil telefon aldığımızda içerisinde çeşitli işlevler barındıran akıllı sistemler bulunduğunu biliyoruz. Özellikle bu cihazların barındırdığı kamera ve işlemcilerin çok daha güçlü teknolojik altyapı sağlaması, bu nesneler üzerinde çeşitli ihtiyaçları karşılayabilecek ve gelişmiş beceriler kazandırabilecek yeni fikirlerin gerçekleştirilmesine temel olmaktadır. Bu tür cihazların özelliklerindeki iyileşmenin yanı sıra fiyatlarındaki iyileşme de herkesin bu özelliklere erişebilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle yapılan yenilikler ve çalışmalar çok geniş kitlelere ulaşmış ve daha büyük bir fayda yaratma açısından daha anlamlı hale gelmiştir. Yeni teknolojilerle birlikte kullanıcıların ihtiyaçlarının karşılanması veya bu teknolojileri kullanarak hızla yayılan ve çılgır açan yeni fikirlerin ortaya konması mümkün olmuştur.

Günlük hayata etki edebilecek önemli teknoloji alanlarından biride bilgisayar görüşü ve bilgisayar grafikleri tabanlı yardımcı teknolojilerdir. Bu alanlarda geliştirilen çeşitli uygulamalar ve algoritmalar insanların günlük hayattaki işlerini kolaylaştırmakta ve daha kaliteli hale getirmektedir. Örneğin bir cep telefonu artık metrik bir ölçüm aracı, bir şifre mekanizması veya bir su terazisi gibi amaçlarla kullanılabilir. Yine aynı şekilde otomobil, çamaşır makinesi veya buzdolabı gibi nesneler akıllı sensörleri, kameraları ve kablosuz iletişim kanalları ile yakıt tasarrufu, işlevsel kalite artışı ve kullanım kolaylığı sağlayabilmektedir.

2. AMAÇ

Bu çalışmada temel hedef mümkün olduğunca az sayıda görüntü kullanarak farklı ara görüntülerin sentezlenmesidir. Çalışma yapılan her veri setinde örnekler sadece iki kaynak fotoğraf ile oluşturulmuştur. Bu kaynak fotoğraflar kullanılarak aşağıda açıklanan yöntemlerle aradaki yeni fotoğraflar ortaya çıkartılmıştır. Fotoğraf makinesi ve kamera ile elde edilen kaynak resimler ile yeni ara görüntülerin oluşturulması günümüzde genel bir ihtiyaç olup bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Genel olarak bu çalışmalarda çok fazla kaynak resim kullanıldığı görülebilir. Bizim çalışmada ortaya koymaya çalıştığımız en önemli hedef bu işlemi sadece iki resim üzerinden gerçekleyip başarıyı ileri düzeye taşımaktır. Resimler üzerinden toplanan bilgilerle sahnenin 3 boyutlu matematik modeli oluşturulmak istenmektedir. Bu 3 boyutlu model üzerine sahneden alınan resimlerle kaplama işlemi yapılarak ara resimlerin daha gerçekçi oluşturulması hedeflenmiştir. Sahnenin ışıklandırılması işlemi de görselliği artırıcı etmenlerdendir. Bu ve benzeri iyileştirme çalışmaları sonucu ara resimlerin gerçeğe çok daha yakın halde oluşturulup sonuç kalitesinin yüksek oranda olması temel hedeflerdendir.

Bu işlemlerin yapılması sırasında kullanılan çeşitli nokta bulma algoritmaları veya eşleme hesaplamaları gibi operasyonlar için bilinen genel yöntemler kullanılacaktır. Bu yöntemlerin çalışmamız çıktısına faydaları, avantajları ve zararları gibi durumlarda incelenecektir. Bahsedilen algoritmaların karşılaştırılması amaçlı tablolar hazırlanarak bunlara ait hata, kalite, hız gibi parametrelerin ortaya çıkartılması sağlanacaktır.

Çalışmanın başlangıç noktası gerçek hayatta beyaz eşyalar içerisine yerleştirilecek iki kameradan elde edilen görüntünün zenginleştirilerek farklı diğer açılardan içeriğin görülmesinin sağlanmasıdır. Bu anlamda çalışmanın yeterince başarılı olması, bu tür bir sistemle günlük hayata fayda sağlaması ve çeşitli uygulamalarda kullanılabilir hale getirilmesi de ikincil hedef olarak söylenebilir.

3. YÖNTEM

Farklı aşamaları barındıran ve bizi hedeflediğimiz sonuçlara ulaştıran yöntem detaylarını aşağıdaki başlıklarda ayrıntılı olarak okuyabilirsiniz. Bu tür problemlerin çözümünde bilgisayar görüşü ve bilgisayar grafikleri açısından farklı yaklaşımlar görülebilmektedir. Bizim temel olarak kullanmayı tercih ettiğimiz yöntem resimlerden bulunan ipuçlarının kullanımı sayesinde sahnenin 3 boyutlu olarak tekrar oluşturulması veya bu hedefe hesaplanan veriler el verdiğince yaklaşılmasıydı. Sahne bu şekilde matematiksel olarak tekrar oluşturulduğunda ara görüntülerin hesaplanmasının mümkün olacağı tezinden hareketle aşağıda belirtilen yöntem adımlarını planladık. 3 boyutlu olarak ele edilen sahnenin farklı bakışlardaki durumu lineer cebir yöntemleri ile ortaya çıkartılmaya çalışılmıştır.

Hedeflenen görüntüler oluşturulurken kullandığımız alt problem çözüm yöntemleri de bu çalışma kapsamında karşılaştırılarak tablolar halinde incelenmiştir.

3.1. Kullanılan Teknolojiler

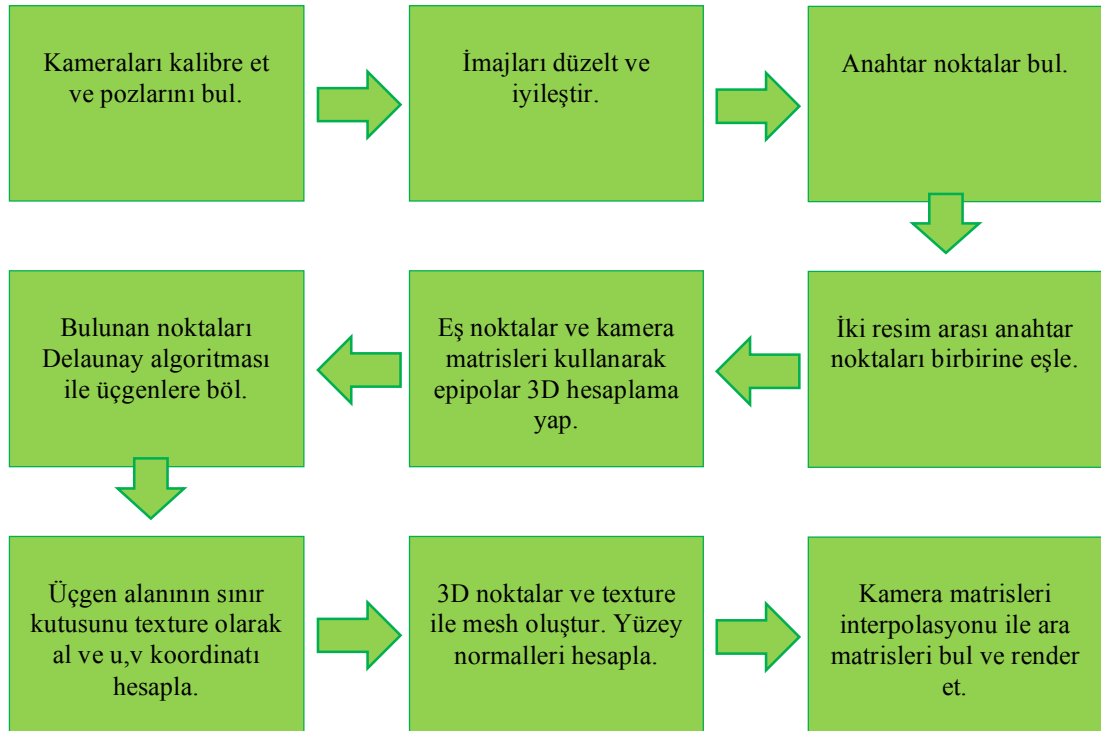
Çalışmanın hedefinin gerçekleştirilmesi ve kalitesinin yeterli düzeye çıkartılması için aşağıdaki teknolojiler kullanılmıştır. Bahsi geçen tüm deney setleri tarafımızdan hazırlanmıştır. Bu veriler aşağıdaki teknolojiler ile oluşturduğumuz framework aracılığı ile işlenerek örnek hesaplamalar gerçekleştirilmiş ve ilgili hesaplamalar yapılmıştır.

- C++
- OpenGL
- OpenCV 3.4.1
- ArUco
- AKAZE, BRISK, ORB, SURF anahtar bulma yöntemleri
- Brute Force ve FLANN tabanlı eşleştirme yöntemleri
- Delaunay Triangulation

3.2. Adımlar

Elimizdeki problemin çözümü için tasarlanan 3 boyutlu tekrar oluşturma işleminin adımları Tablo 3.1’de görülebilir. Bu tablodan anlaşılacağı üzere hedeflediğimiz sonuca ulaşabilmek için dokuz adet aşama planlanmıştır. Bu aşamalardan her biri bir sonrakinin kaynak verilerini oluşturacak ve alternatif birkaç yöntemi içinde barındırarak kaliteyi arttırabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu aşamalar ilerleyen başlıklarda detaylı olarak anlatılmıştır. Tabloda anlatılan adımların bağlantıları ve sırası yanlarındaki oklarla takip edilebilir. İlk kutudan başlayarak her aşama uygulandıktan sonra diğer adıma geçilebilir. Bu aşamalar genel olarak planlanmış deney seti ve duruma özel işlemler barındırmayan bağımsız iş parçacıkları olarak değerlendirilebilir.

Tablo 3.1. *Planlanan adımlar*



Tablo 3.1’de tarif edilen aşamalardan ilki kameraların bir sahne üzerinde duruşunu ve sahneden aldıkları içeriğin şeklini elde ettiğimiz verilerin matematiksel değerlerinin kameralara özel olarak elde edilmesi işlemidir [1,2]. İkinci adımda kameralardan elde edilen resimler üzerinde yine kameralara bağlı bozulmalar nedeniyle düzeltme işleri

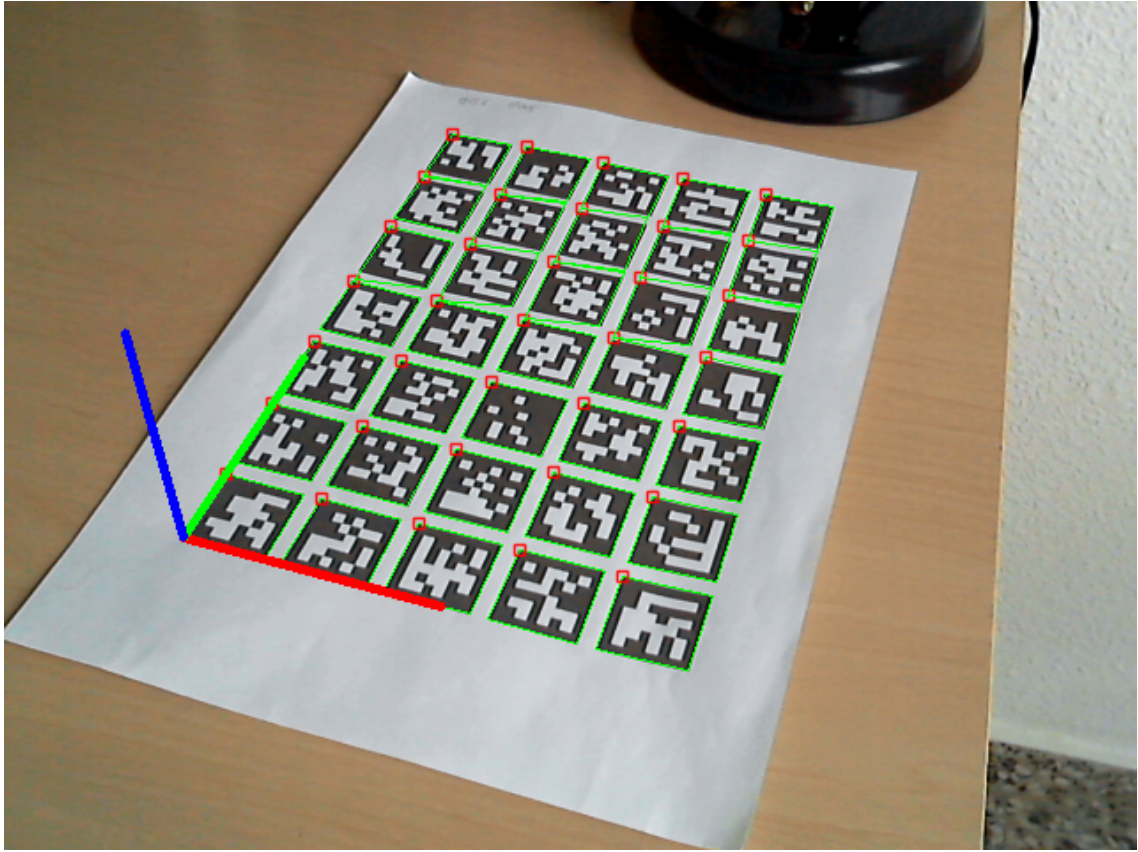
gerçekleştirilmektedir [13,14]. Üçüncü adımda resimler üzerinde ayırt edici anahtar noktalar ve bunlara ait özellikler aranması için çeşitli algoritmaların kullanılması işlemleri gerçekleştirilmiştir [3-9]. Sonraki adımda bu ayırt edici noktaların iki resim arasında eşlerinin bulunması üzerine çalışılmıştır [6,10]. Bu aşamada iki farklı eşleme algoritması denenmiş ve farkları ortaya konmuştur. Beşinci adımda 3 boyutlu epipolar geometri kuralları kullanılarak önceki aşamalarda elde edilen ve iki resim arasında köprü görevi gören eş anahtar noktaların 3 boyuttaki koordinatları hesaplanarak [3,11,15-16] sahnenin yeniden oluşturulması için temel adım atılmaktadır. Sonraki adımda elde edilen 3 boyutlu noktaların arasındaki bilginin interpolate edebilmesi için bu noktaları üçgenlerle bağlanmaya çalışılmıştır. Bu noktaların optimum sayıda üçgen ile bağlanabilmesi için Delaunay üçgenleme algoritması [18,24] kullanılmıştır. Yedinci aşamada ortaya çıkartılan 3 boyutlu nesnenin kaplanabilmesi için sahneden renk ve resim bilgisini içeren bir parçanın alınarak bu nesneye kaplanması sağlanmıştır. Kaplama koordinatlarını içeren hesaplama da yine bu aşamada gerçekleştirilmektedir [25,26]. Sondan bir önceki aşamada ise o zamana kadar toplanan tüm bilgi ile 3 boyutlu sahne oluşumu gerçekleştirilir. Oluşacak ara resimlerin gerçekçiliğini arttırmak için aydınlatma hesabının yapılması amaçlanmıştır [25-27]. Bu nedenle bu aşamada nesnenin yüzey normallerinin 3 boyutlu hesaplaması da gerçekleştirilir. Son aşamada ise bilinen iki kamera matrisinin ara değerleri hesaplanır. Bu değerler üzerinden oluşturulan yeni kamera matrisleri kullanılarak sahne yeni açılardan görüntülenecek şekilde render edilir ve hedeflenen noktaya ulaşılır [25-27].

3.3. Kamera Kalibrasyonu ve Pozisyon Hesaplama

Görüntüleme cihazlarının kalibrasyon işlemleri bu çalışmanın temel hesaplamalarından biridir [1,2]. Kameralarda kalibrasyon iki aşamalıdır. Bu aşamalar iç ve dış kalibrasyon olarak isimlendirilir. Kalibrasyon işlemi temelde bize fotoğraf çekilen kameraya has bilgilerin toplanıp, bu cihaza özel durumların anlaşılmasını sağlar. Böylelikle her kameranın sisteme entegre edilebilmesi için bir normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiş olur. Kalibrasyon işlemleri bu çalışmada ArUco kütüphanesi ve OpenCV frameworkü ile gerçekleştirilmiştir.

3.3.1. İ kamera kalibrasyonu

İ kamera kalibrasyonu bir görüntüleme cihazının yatay ve dikey lens ayarlarının, sensör znrlklerinin alındığı ve lens bozulmalarının hesaplandığı bir işlemler serisidir. Kamera lensinin resim üzerinde zoom ve odaklama gibi işlemlerle veya kendi yapısal değerleriyle yarattığı bozulmalar vardır. Bu bozulmalara (lens distorsion) karşı imajları düzenlemek için çeşitli matematiksel işlemler uygulamak gerekir. Bu işlemleri gerçekleştirebilmek için ise her kameraya ve çekim durumuna özel i parametrelerin ölçülmesi gerekmektedir.



Görsel 3.1. *ArUco kalibrasyon tahtası kullanılarak i parametre hesaplanması [19]*

ArUco kütüphanesi ile gelen kalibrasyon tahtası bu amaçla kullanılır (Bkz. Görsel 3.1). İ parametreleri alınmak istenen görüntüleme cihazı ile önceden oluşturulmuş ve tüm özellikleri bilinen bu tahtanın fotoğrafı çekilir. Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra ortaya çıkan parametreler ileriki çalışmalarda kullanılmak üzere bir XML dosyasına kaydedilir. Sonraki aşamalarda da anlatılacağı üzere bu bilgiler kullanılarak resim

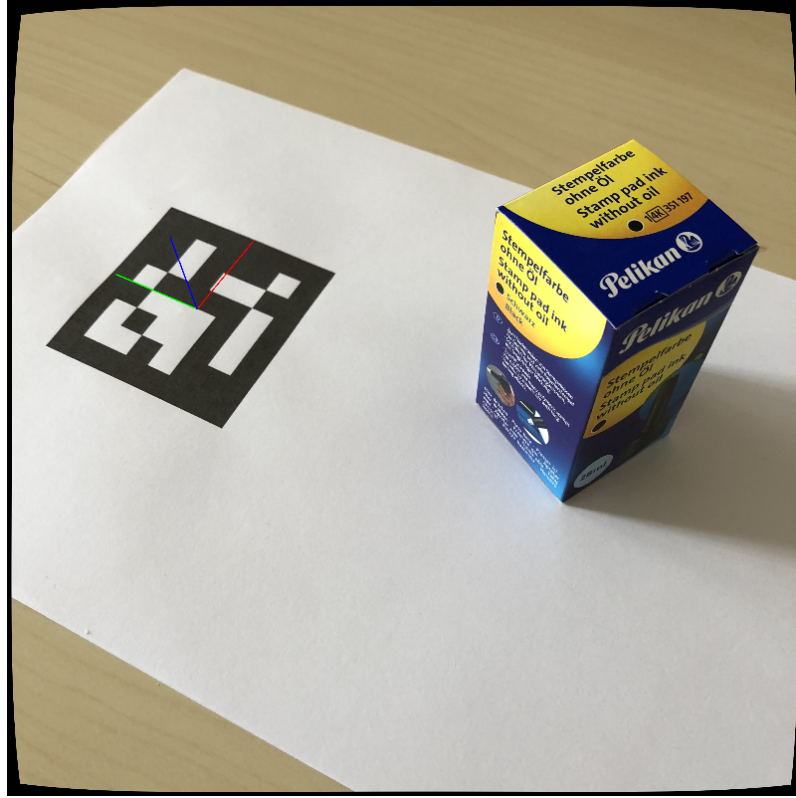
üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılır ve çalışma sonucunun daha doğru çıkması sağlanır. Bu işlemler sonucunda sahne üzerindeki hangi noktanın fotoğraf karesi üzerinde nereye düştüğünü belirleyen kamera iç matrisi hesaplanır. Kamera iç matrisi ve vektörler üzerinde örnek kullanımı denklem 3.1’de incelenebilir [20].

$$x_i = \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f k_u & 0 & u_0 \\ 0 & -f k_u & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ f \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ f \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

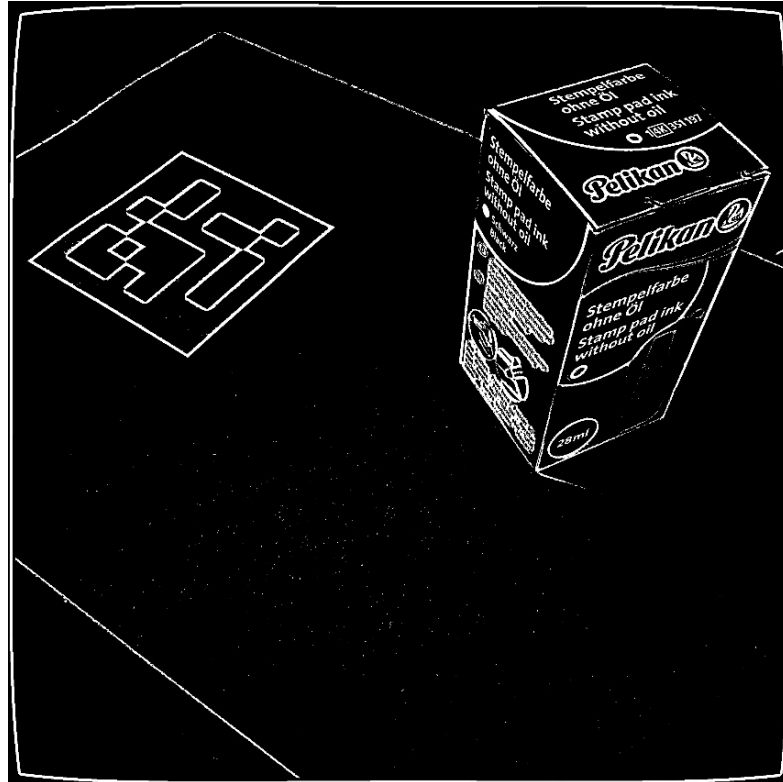
3.3.2. Dış kamera kalibrasyonu

Görüntüleme cihazlarının sahneye ve hedef nesneye göre konumunun ve duruşunun bulunması işlemi dış kalibrasyon olarak açıklanabilir. Bu işlemi çalışmanın en önemli adımı olarak kabul edebiliriz. Kameraların pozisyonlarının bulunmasında yapılacak en ufak bir hata görüntü kalitesinde ve hedef çıktının oluşumunda büyük bir deformasyon yaratacaktır. Örnek marker bulma sonucu Görsel 3.2’de incelenebilir. Markerların bulunması işlemi ardından markerın iki boyutlu görüntüsü kullanılarak kamera transfer matrisi oluşturulur. Kamera transfer matrisi sahnedeki nesnelerin pozisyonuna göre tekrar koordinatlanmasını sağlayan bir lineer cebir hesaplaması yapabilmemizi sağlar.

Dış kamera kalibrasyonu ile elde edilen lineer bağlantı kamera düzlemi üzerinde oluşan görüntü ile gerçek dünya arasında bağıntı kurabilmemizi sağlar. Bu bağıntı iki kameranın matrisleri ile birlikte kullanıldığında farklı kameralar arası görüntülerin arasında geçiş sağlayabilme fırsatı yaratır.



Görsel 3.2. Marker bulma işlemi sonucu

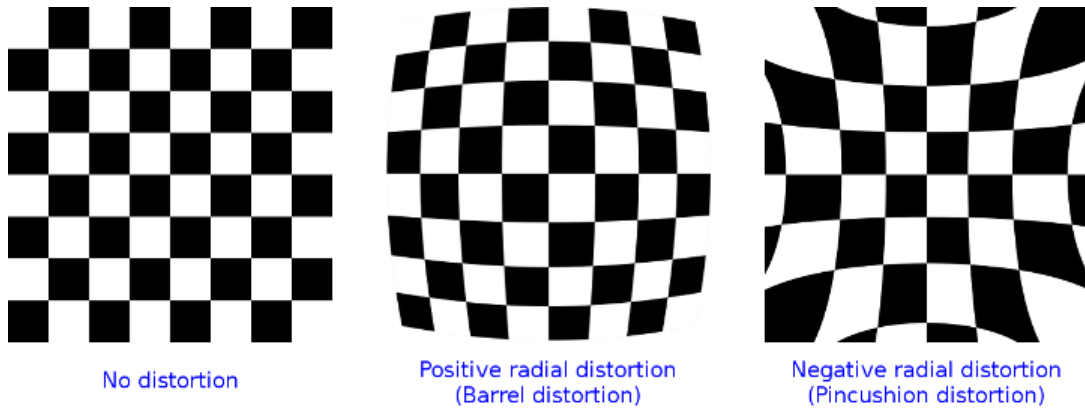


Görsel 3.3. Kenar bulma filtresi ve markerın ortaya çıkması

Dış kalibrasyon işleminde yine ArUco kütüphanesinin marker sistemi kullanılmıştır. Görüntülenen alana yerleştirdiğimiz önden tanımlanmış dörtgen markerlar fotoğraf makinesinin sahneye göre duruş ve konum bilgisinin hesaplanmasında kullanılır. Bunun için çekilen fotoğraf üzerinde Canny Edge algoritması kullanılır (Bkz. Görsel 3.3). Filtrelenmiş bu resimdeki çizgiler bulunarak dörtgen oluşturan yapı aranır. Sonrasında iç deseni incelenerek tanımlı hangi markera ait olduğu ve koordinat sisteminin nasıl olduğu bulunur. Böylelikle kameranın çekim esnasındaki duruşunu belirleyen ve içeriğinde kamera pozisyonu ve dönüşünü barındıran lineer taşıma matrisi hesaplanabilir. Matris örneği ve ilgili vektör operasyonunu gösterir denklem 3.2’de görülebilir [20].

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

3.4. Görüntü İyileştirme İşlemleri



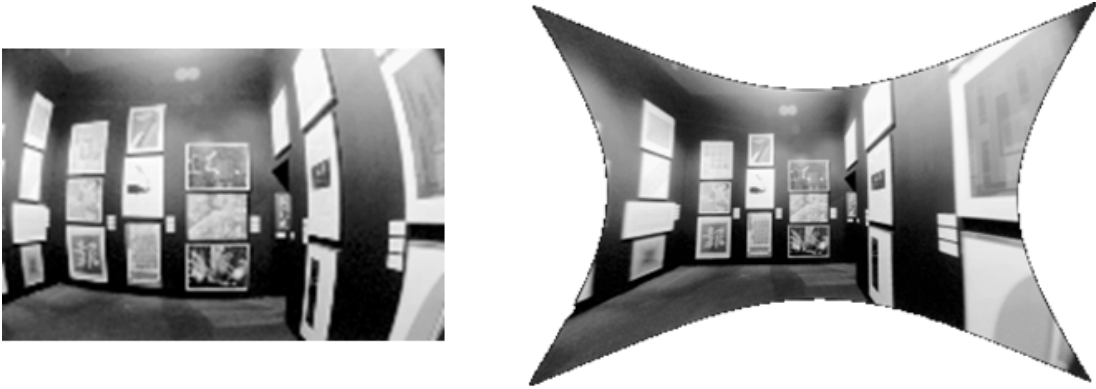
Görsel 3.4. Resim üzerinde lens bozulması etkilerinin çeşitleri [21]

Çalışma kapsamında görüntü iyileştirme konusunda kamera lensinin fotoğraf üzerinde yarattığı bozulma düzeltilmiştir [13,14]. İç kamera kalibrasyonu bölümünde de anlatıldığı üzere kamera fotoğrafını çektiği alanda zoom, odaklama ve lens özellikleri itibari ile sorunlu görüntüler yaratmaktadır. Bu sorunlar genelde paralel çizgilerin birbirinden farklı durması veya düz çizgilerin eğrilmesi şeklinde gözlemlenir. Bu hataların çeşitleri Görsel 3.4’te incelenebilir. Hataların düzeltilmesi amacı ile kameradan alınan iç kalibrasyon parametreleri kullanılır. Bu parametreler denklem 3.3 aracılığı ile resmin doğru bir şekilde tekrar oluşturulması için hesaplamaya katılır. Çalışmamıza

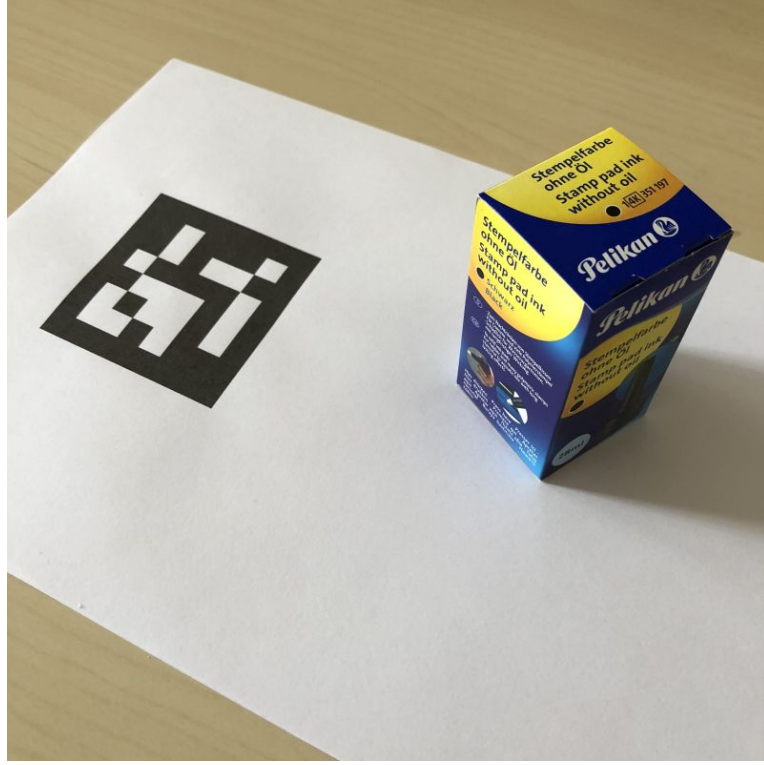
kullanılan düzeltilmiş ve düzeltilmemiş örnek resim durumları Görsel 3.6 ve Görsel 3.7’de incelenebilir.

$$\begin{aligned} x' &= x + x*(K_1*r^2 + K_2*r^4 + K_3*r^6) + P1*(r^2 + 2*x^2) + 2*P_2*x*y \\ y' &= y + y*(K_1*r^2 + K_2*r^4 + K_3*r^6) + P2*(r^2 + 2*y^2) + 2*P_1*x*y \end{aligned} \quad (3.3)$$

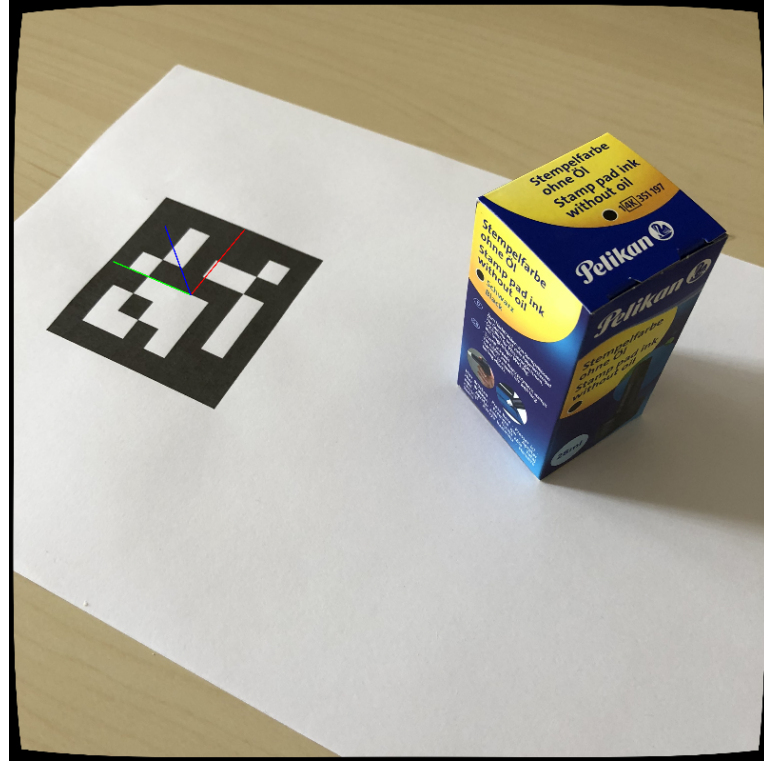
Aşağıda yüksek lens bozulmasına uğramış görüntü örneği içeren Görsel 3.5 incelenebilir. Yüksek orandaki bozulmalarda duvar çizgilerinin ne kadar eğrildiği ve birbirine göre paralellliğini kaybettiği bu örnekte açıkça görülebilmektedir. Bu anlamda görüntü hataları düzeltilmiş resmin çalışma başarısına katkısı da algılanabilir.



Görsel 3.5. Yüksek lens bozulması oluşmuş görüntü örneği [22] (sağdaki resim soldaki bozuk görüntünün düzeltilmiş halidir)



Görsel 3.6. *Lens hatası bulunan ham resim*



Görsel 3.7. *Resmin kamera iç parametrelerine göre düzeltilmiş hali*

3.5. Anahtar Noktalar

Anahtar noktalar bir resme ait görüntüyü diğerlerinden ayıran özel noktalarlardır. Resimde sadece bir iz olmanın ötesinde bu noktalar oldukları alana ait tanımlayıcı bilgileri de taşıyacak şekilde hesaplanıp değerlendirilirler [3-10]. Bu çalışmada anlatılan tanımlayıcılar ve resim üzerindeki pozisyonları kullanılarak sahnenin 3 boyutlu verisi oluşturulmaya çalışılacaktır. Bu nedenle anahtar noktaların doğru bulunması, doğru tanımlayıcı bilgileri içermesi, fazla sayıda ve hızlıca bulunabilmeleri başarıyı arttıran önemli faktörlerdir.

Çalışma kapsamında dünyaca bilinen farklı anahtar bulma algoritmaları denenmiştir [3,7-9]. Bu algoritmaların çeşitliliği hem çalışmayı hedefine ulaştıracak en uygun anahtar bulma yönteminin bulunmasını hem de bu yöntemler arasında karşılaştırmalar yapılabilmesini sağlayacaktır. Örnek bir anahtar nokta bulutu Görsel 3.8’de incelenebilir.

Bu kapsamda kullanılan anahtar nokta ve tanımlayıcı bulma algoritmaları aşağıdaki gibidir:

- AKAZE
- BRISK [8]
- ORB [9]
- SURF [3]

Yukarıda listesi verilen anahtar nokta algoritmaları birbirlerine göre yöntem, yaklaşım ve hız olarak farklılıklar gösterebilir.

Tablo 3.2. Farklı yöntemlerle bulunan toplam anahtar nokta sayıları

	AKAZE	BRISK	ORB	SURF
Set 1	10899	12980	980	11305
Set 2	3751	4648	697	9393
Set 3	13171	17458	981	21143
Set 4	17308	16202	804	31653

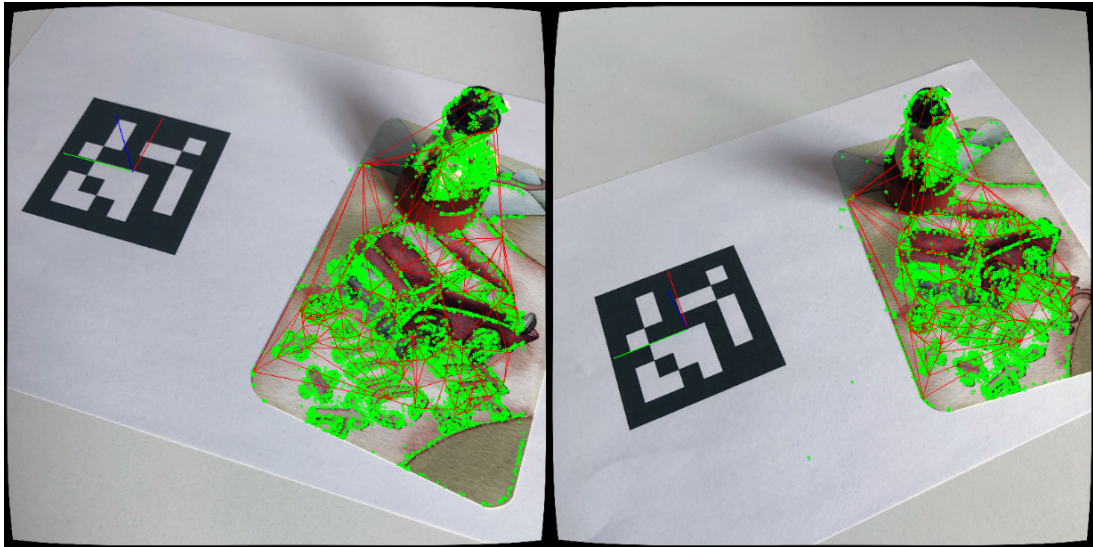
Tablo 3.2 çalışmadaki deney seti resimlerinde algoritmalarla göre bulunan anahtar noktaların sayıları göstermektedir. Bu tabloya göre her deney seti örneği için farklı yöntemler farklı sayıda anahtar nokta bulmuştur. Çalışma süresince edindiğim tecrübeye göre çok fazla sayıda nokta bulmak doğrudan başarının yükselmesine etkilidir denemez.

Çok az sayıda nokta olsa dahi tanımlayıcıları daha kuvvetli olan algoritmaların daha başarılı sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür.

Tablo 3.3’de ise farklı algoritmaların bu sayıdaki anahtar noktayı bulabilmek için ihtiyaç duydukları süreler saniye cinsinden görülebilir. Bu iki tablo kullanılarak yöntemler arasındaki hız farkı anlaşılabilir.

Tablo 3.3. Anahtar noktaların farklı yöntemlerle bulunma süreleri (s)

	AKAZE	BRISK	ORB	SURF
Set 1	11,17	1,23	1,14	7,53
Set 2	11,07	0,91	0,92	7,58
Set 3	10,64	1,37	0,98	7,83
Set 4	10,91	1,36	0,99	8,02

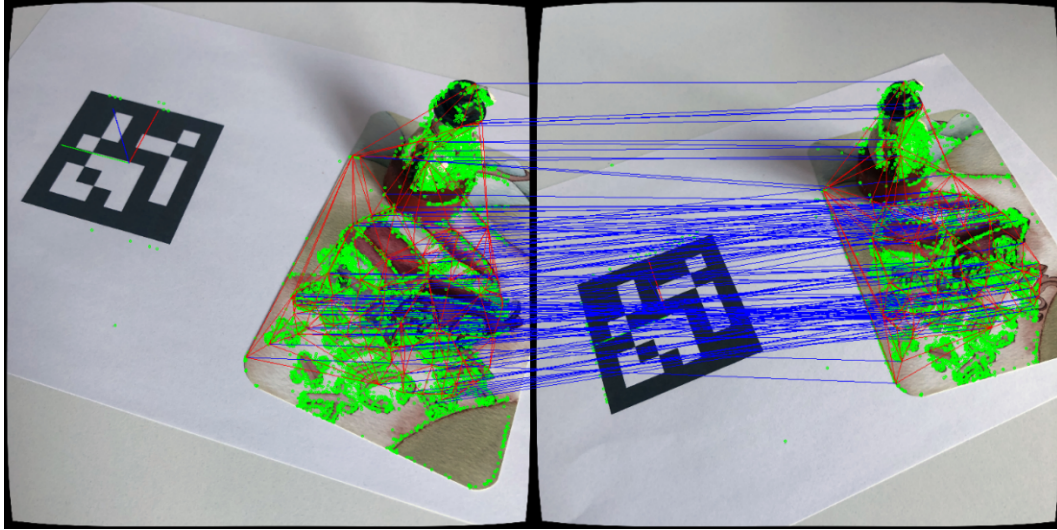


Görsel 3.8. Deney seti 4 için AKAZE algoritmasının bulduğu anahtar noktalar

3.6. Görüntüler Arası Anahtar Nokta Eşleme

Bu aşamada görüntülerde bulunan anahtar noktaların aynı sahneye ait iki görüntü üzerinde birbirine eşlenmesi işlemi yapılmaktadır [4-6,10]. Eşleşmenin doğru olması için her iki görüntüde farklı konumlarda bulunan aynı noktaların birbirine bağlanması gerekmektedir. Bu eşleme sonucunda elde edilen nokta çifti sahnenin o bölgesinin kameralara göre derinliğini verecek bir işlem gerçekleştirebilmemizi sağlayacaktır.

Anahtar noktaları bulunduktan sonra eşleştirilmiş deney set örneği Görsel 3.9’da görülebilir.



Görsel 3.9. Deney seti 4 için Brute Force algoritması eşleştirme örneği

Çalışma kapsamında iki adet eşleme algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmaların listesi aşağıdaki gibidir:

- Brute Force karşılaştırıcı
- FLANN tabanlı karşılaştırıcı

Bahsedilen algoritmalar anahtar nokta bulma sisteminden çıkan nokta listelerini aynı sahnenin iki resmi için karşılaştırır. Bu işlem noktaların tanımlayıcı özelliklerinin karşılaştırılmasıyla yapılır. FLANN tabanlı karşılaştırma algoritması genel olarak Brute Force karşılaştırıcısından çok daha hızlı sonuç bulmuştur. Her ne kadar bu algoritma Brute Force a göre az bir farkla daha az başarılı sonuçlar verse de hız ile başarı oranı açısından daha tercih edilebilir olduğu söylenebilir. Bu iki algoritmanın hız karşılaştırması Tablo 3.4’e bakılarak yapılabilir.

Tablo 3.4. SURF ile bulunan anahtar nokta ve tanımlayıcıların farklı yöntemlerle eşleşme süreleri (s)

	Brute Force	FLANN
Set 1	1,28	0,33
Set 2	0,87	0,27
Set 3	4,59	0,67
Set 4	10,08	1,05

Nokta eşlemede doğruluk başarımı da eşleştirme hızı gibi önemli parametrelerden biridir. Bu çalışma kapsamında doğru eşlemedeki başarı oranının Brute Force algoritmasında biraz daha yüksek olduğu söylenebilir.

Anahtar noktaların farklı deney seti görüntüleri için başarı sayılarını içeren Tablo 3.5 bu anlamda önemlidir. Burada her nokta bulma algoritmasının tüm deney setleri için kaç adet anahtar nokta bulduğu görülebilir.

Tablo 3.5. Eşleşme işlemi başarılı olmuş anahtar noktaların sayıları

	AKAZE	BRISK	ORB	SURF (BF)	SURF(FLANN)
Set 1	16	4	26	991	948
Set 2	153	41	69	1608	1547
Set 3	54	23	66	3097	2814
Set 4	136	94	77	2523	2182

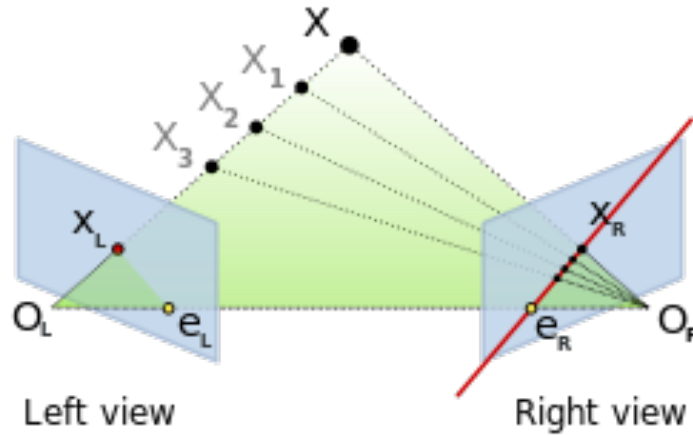
Tablo 3.6’te ise tüm deney setlerinde kullanılan nokta bulma algoritmalarının buldukları sonuçların eşleşmelerinde oluşan hatalı nokta çiftlerinin sayıları görülebilir. Hatalı nokta sayısı az olsa da interpolasyon işlemiyle hatanın görüntüde yayılacağını öngördüğümüzde görsel sonuçta hatanın genişleyeceğini söyleyebiliriz. Bu nedenle bulunan anahtar nokta sayısı az da olsa hatasız eşleşmelerden görsel olarak daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir.

Tablo 3.6. Çeşitli yöntemlere göre eşleşme işlemi hatalı anahtar noktaların sayıları

	AKAZE	BRISK	ORB	SURF (BF)	SURF(FLANN)
Set 1	0	0	5	22	21
Set 2	0	0	12	32	30
Set 3	0	0	0	48	53
Set 4	0	0	2	62	56

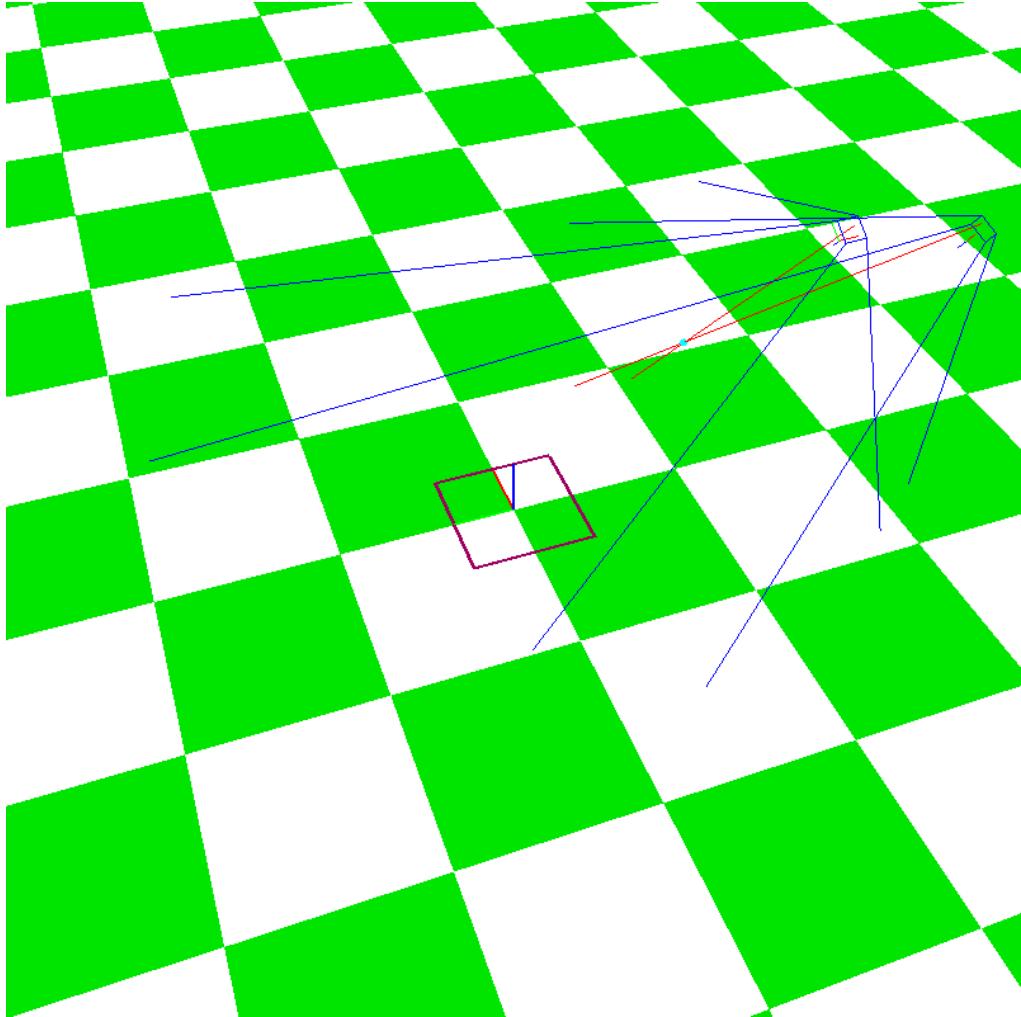
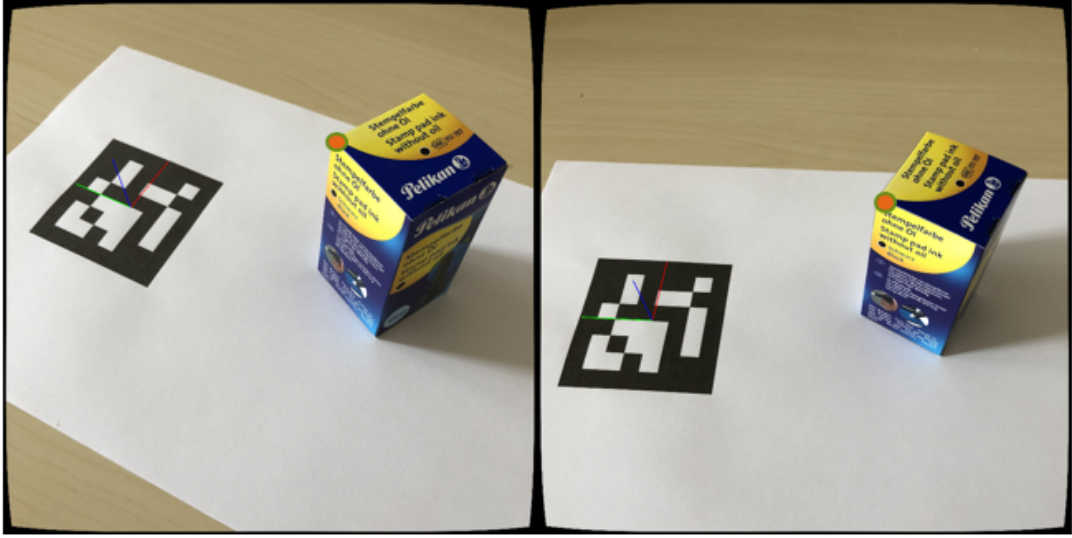
3.7. Noktaların 3 Boyutlu Pozisyonlarının Bulunması

Tüm anahtar noktaların bulunması ve sonrasında eşleşmesi sonucu resimler üzerinde elimize geçen bilgiyi artık sahnenin 3 boyutlu oluşturulması amacıyla işleyebiliriz [11-12,14-15]. Eşleşen anahtar nokta çiftlerinin farklı görüntüleri oluşturmuş iki kameranın matrislerini kullanarak kameralara hangi derinlikte olduğunu söylemek mümkündür. Epipolar geometri kurallarında farklı görüntüler üzerindeki eş noktalar arasındaki ilişki çeşitli hesaplamalarla tanımlanır [16,17]. Epipolar geometri kurallarıyla genel olarak açıklanan, üçgensel kesişimlerin ve noktalar arasındaki ilişkilerin bağıntılarını anlatan Görsel 3.10 fikir vermesi açısından incelenebilir.

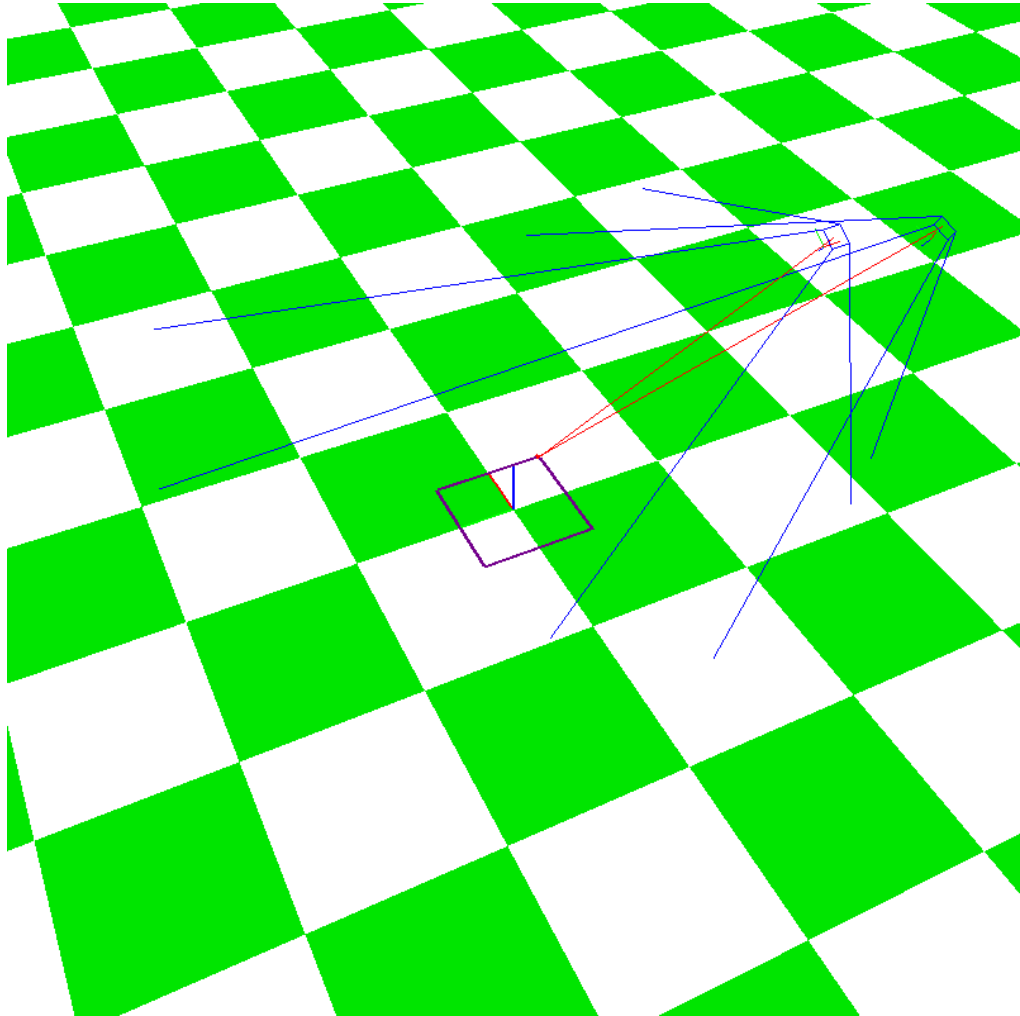
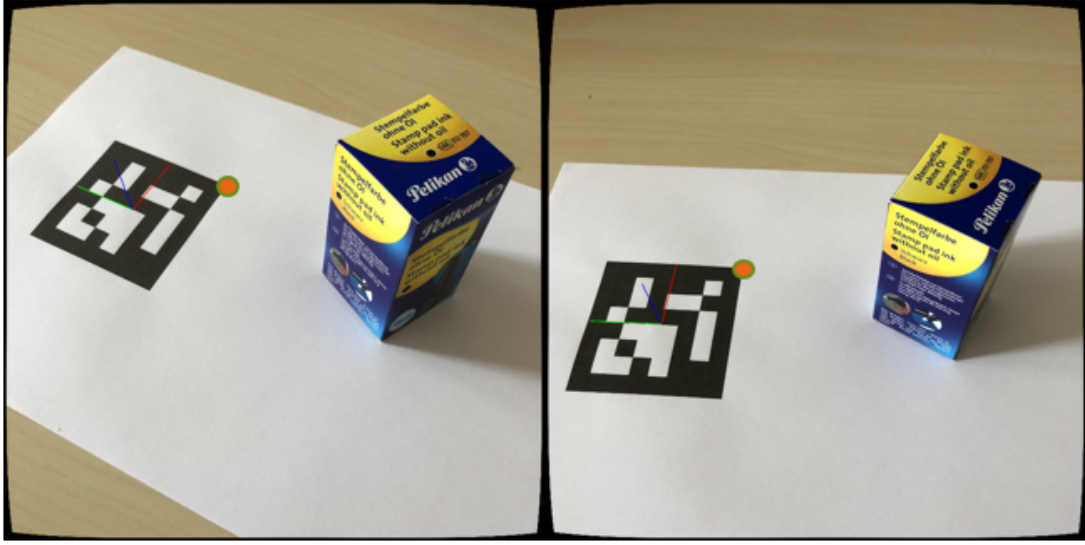


Görsel 3.10. Epipolar geometride farklı iki görüntü üzerinde oluşan noktalar ve ilişkileri [23]

Bu amaçla bu iki noktayı gören iki kameranın görüntü düzlemlerinde bu noktalardan başlayarak ve kamera bakış vektörünü takip edecek şekilde sahneye ışın gönderilir. Bu ışınların 3. boyutta kesiştiği nokta bu anahtar çiftinin sahnedeki 3 boyutlu koordinatıdır. Örnek olarak seçilen iki nokta çifti için atılan ışınlar ve oluşturdukları kesişim Görsel 3.11 ve Görsel 3.12’den incelenebilir.



Görsel 3.11. İki resimde seçilmiş bir eş nokta setinin 3. boyutta koordinatının bulunması

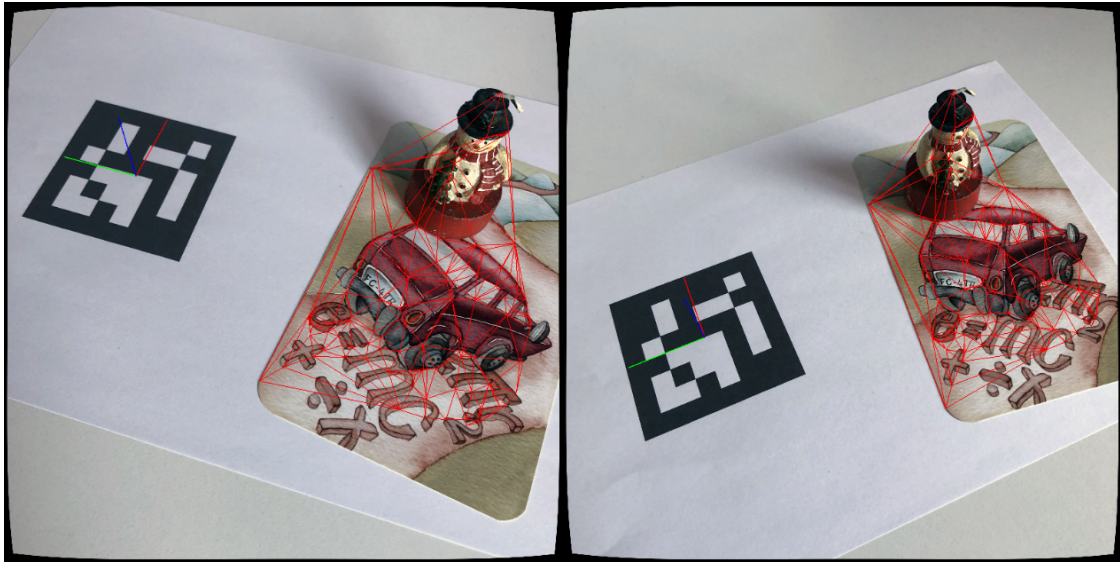


Görsel 3.12. İki resimde seçilmiş bir eş nokta setinin 3. boyutta koordinatının bulunması 2. örnek

3.8. Üçgenleştirme ve Delaunay Algoritması

Elde edilen 3 boyutlu nokta çiftleri resimlenen sahnenin 3 boyutlu yapısı hakkında fikir verse de sadece bu noktalar yeni görüntülerin sentezlenmesine yeterli olmayacaktır. Olabildiğince çok nokta ve renk bilgisine ihtiyaç vardır. Bu nedenle bilinen 3 boyutlu noktaların arasına kalan diğer renk ve bilgisini alabilmek ve bu noktalar arasında kalan bilinmeyen alanların derinlik bilgisine interpolasyonla yaklaşmak kabaca da olsa sahnenin 3 boyutlu modelini elde etmemizi sağlayacaktır.

Bu nedenle hesapladığımız eşleşmiş noktaları birleştirerek ve aralarında yüzeyler oluşturarak bilinmeyen bölgeleri de kapsamaya çalışacağız. Bu amaçla bilinen noktalar arasında üçgen alanlar oluşturup bilgiyi bu alanlara yaymak bilinmeyen alanlar için veriye yaklaşmamızı sağlayacaktır. Anlatılan tür bir bağlantı modelini Delaunay Üçgenleme [18,24] metodu kullanarak gerçekleştirdik. Elimizdeki eşleşen nokta çiftlerini bu yöntemle bileşik üçgensel alanlara dönüştürdük. Bu üçgenlerin köşe noktaları hesaplayabildiğimiz eş noktalardan oluşmaktadır. Bu algoritmanın çıktısı Görsel 3.13'ten incelenebilir.



Görsel 3.13. Delaunay algoritmasından çıkan ve eşleşen anahtar noktaları köşeleyen bileşik üçgen alanlar

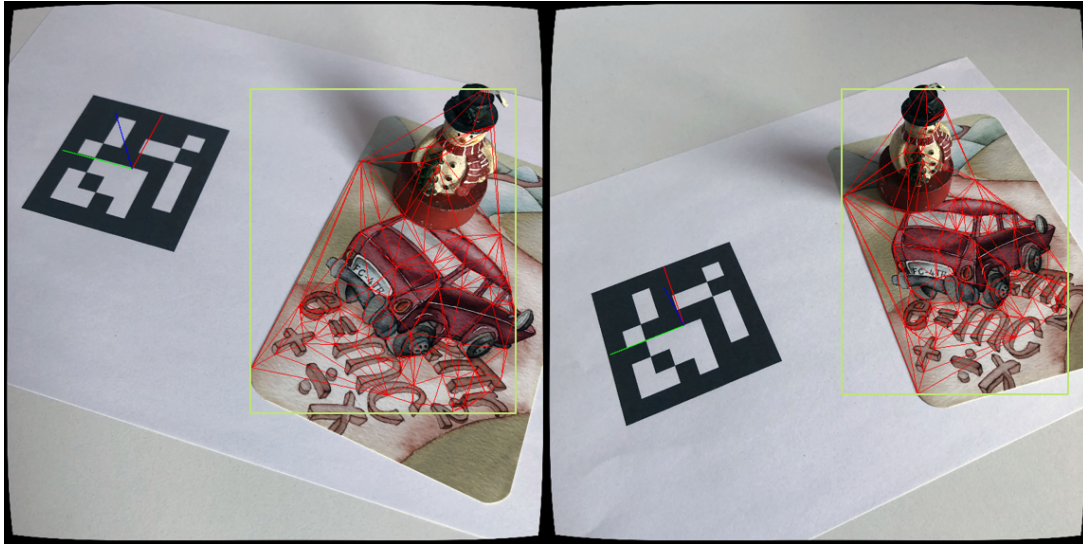
Sonraki aşamada üçgenlere parçalanmış alanlar sahnenin 3 boyutlu mesh bilgisini oluşturacak şekilde düzenlenir. Tüm deney setleri için kullanılan anahtar bulma ve

eşleşme algoritmaları sonucu oluşturduğumuz üçgen bölgelerin toplam alanı pixel^2 olarak Tablo 3.7’de incelenebilir.

Tablo 3.7. Farklı yöntemlerle bulunmuş eş noktalarla oluşturulan üçgen alanların toplamaları (pixel^2)

	AKAZE	BRISK	ORB	SURF (BF)	SURF (FLANN)
Set 1	266942,3	64326,3	90542,5	856681,4	896453,9
Set 2	562886,0	389304,1	93298,7	705380,2	702893,5
Set 3	1060499,3	681642,9	388292,6	1339372,0	1918220,1
Set 4	1604054,9	1223908,9	612748,9	2164621,5	2085023,3

3.9. Kaplama Resmi Oluşturulması ve U,V koordinatlarının hesaplanması



Görsel 3.14. 3 boyutlu sahne oluşturmada kullanılacak kaplama resimlerinin üçgen alanlarının sınır kutularıyla belirlenmesi

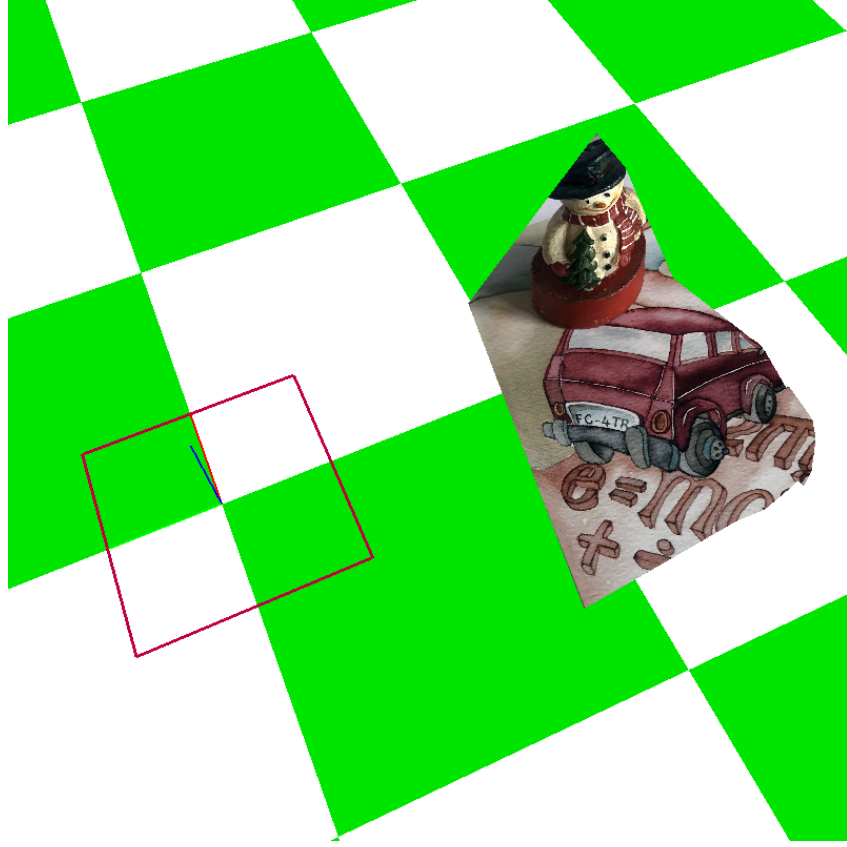
Resimler arasındaki hesaplamalar, bulunan noktalar, bağıntılar sonucu sahnedeki nesneleri 3 boyutlu yapıları olabildiğince ortaya çıkartılmıştır. Bu 3 boyutlu bilginin yeni çizimlere dönüşmesi için temel iki resimden renk ve desen bilgisinin alınması görselliği yüksek düzeyde arttıracak ve hedeflenen sonuca daha da yaklaşmamızı sağlayacaktır. Bu nedenle bir önceki bölümde anlatılan üçgenleştirme işleminde ortaya çıkan ve derinlik bilgisini elde ederek 3 boyutlu yapısını ortaya çıkarttığımız alana ait resim (kaplama) bilgisi gereklidir. Bu bilgi üçgenleştirilmiş alanın sınır kutusunun gösterdiği temel resim alanıdır. Görsel 3.14 bu sınır kutusuyla belirlenen resim alanına bir örnek olarak incelenebilir.

Bu resim üzerindeki eşlenen anahtar noktaların sınır kutusunun kenarlarına olan uzaklığı ise kaplama resminin 3. boyuttaki mesh üzerinde nasıl kaplanacağını belirten u, v kaplama koordinatlarını verir [26]. Nesnenin renderı oluşturulurken bu resim kaplama olarak tanımlanır ve koordinatlar 3 boyutlu çizimin köşe noktalarına (vertex) kaplama koordinatı olarak verilebilir. Böylece resim nesne üzerine giydirilerek daha çok bilgi içeren gerçekçi görüntüler oluşturulabilir.

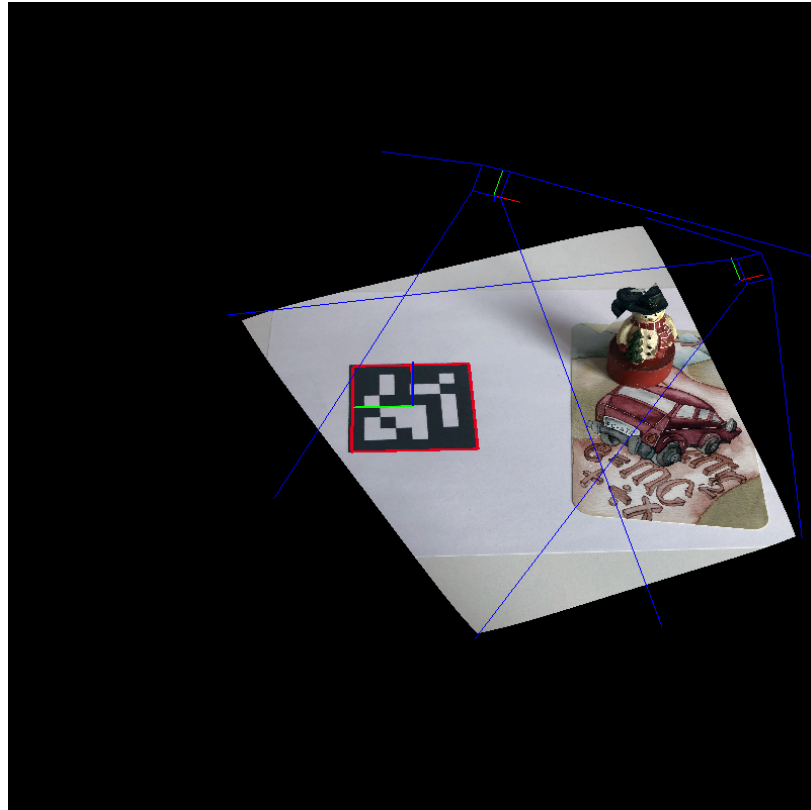
3.10. 3 Boyutlu Model ve Yüzey Normallerinin Hesaplanması

Hesaplamalar sonucu temel resimlerden elde edilen bilgi sahnenin 3 boyutlu modelinin oluşturulması için kullanılır [25,26]. Eşleşen anahtar noktaların 3. boyuttaki koordinatları ile bu noktalar arası üçgenleme sonucu oluşturulan bağlantılar bize sahnenin 3 boyutlu nesnesini (mesh) verir. Bu nesne üzerine kaplanacak olan resim ise bir önceki aşamada hesaplanmıştır. Eldeki bu veriler kullanılarak mesh, resimleme sistemlerinde görüntülenebilir (render). Bulunan bilgilere dayanan render işlemi OpenGL [26] ile oluşturulmuştur ve örneği Görsel 3.15'te incelenebilir.

Bilgi edinilemeyen diğer alanlar için uygulanabilecek bir diğer yöntem ise temel imajlardan birinin ters kamera matrisi ile projeksiyonunun oluşturulması ve sahneye yerleştirilmesidir. Bu sayede bazı hatalar ortaya çıkmakla beraber bilinmeyen çok geniş bir alan için renk bilgisi edinilecektir. Projeksiyon sonucu oluşan yeni render sonucu Görsel 3.16'da incelenebilir.

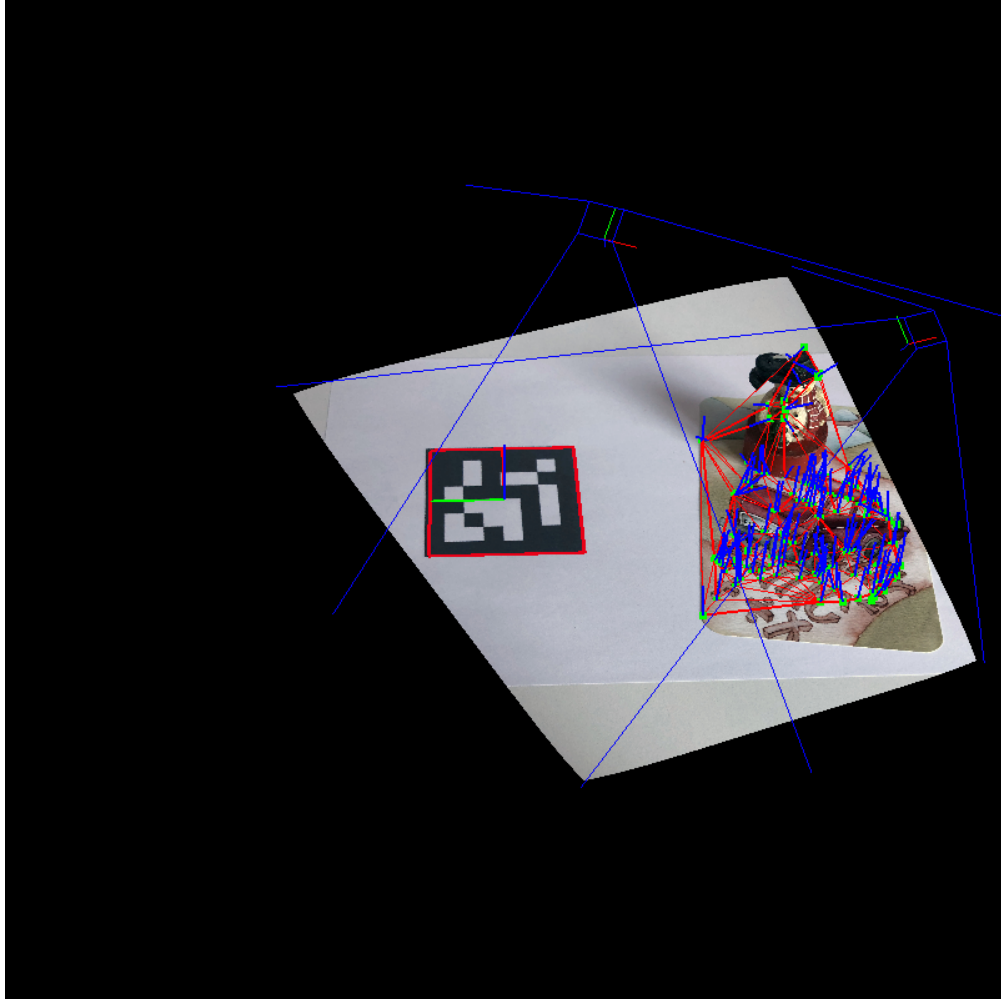


Görsel 3.15. Toplanan bilgiler sonucu oluşturulan 3 boyutlu yapının render edilmiş görüntüsü



Görsel 3.16. Temel resmin kameradan bilinmeyen bölgeleri renklendirme amaçlı projeksiyonu

Render kalitesini daha da arttırabilmek için ışıklandırma ve gölgelendirme gibi hesaplamaların yapılması görüntüdeki gerçekçiliği daha da arttıracaktır. Bu çalışma kapsamında gölge uygulamaları yapılmamıştır. Buna rağmen ışıklandırma konusunda temel uygulamalar denenmiştir. 3 boyutlu ışıklandırma yapabilmek için gereken temel hesaplama ortaya çıkartılan 3 boyutlu nesnenin yüzey normallerinin hesaplanmasıdır. Hesaplanan normal örnekleri Görsel 3.17’de incelenebilir.



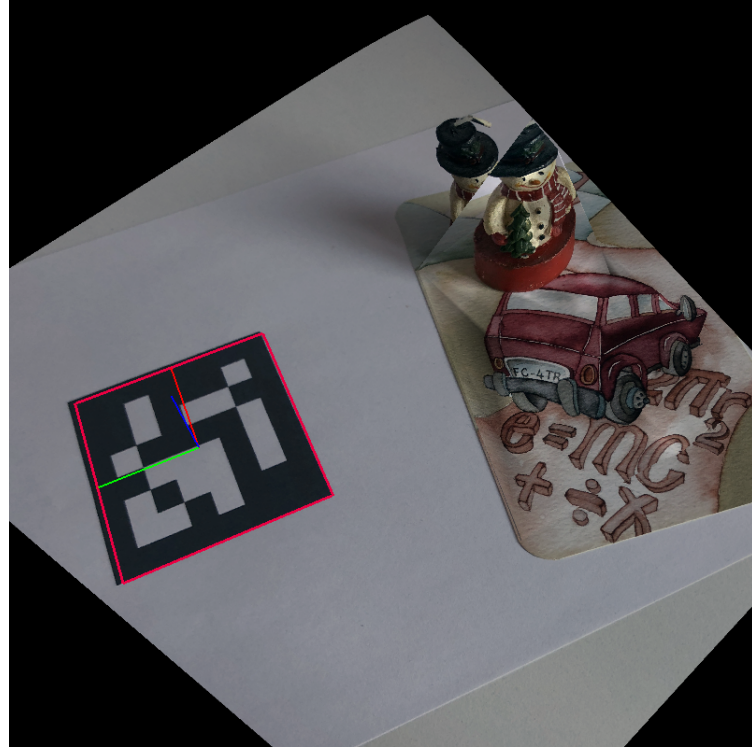
Görsel 3.17. 3 boyutlu nesne üzerinde hesaplanan normal vektörleri

Yüzey normalleri kenar noktalar için hesaplanırsa ışıklandırma yüzeyde daha yuvarlak hatlar gösterecek şekilde oluşur. Köşe noktalar için değil de üçgen yüzeyler için hesaplanırsa 3 boyutlu yüzeyi oluşturan üçgenler düz şekilde ışıklandırılır. Genelde komşu yüzeylerin arasındaki 3 boyutlu açının hesaplanarak belirli açıdan daha dar komşuluklar için yüzey normalleri daha geniş olanlar için köşe normalleri hesaplanması otomatik çözümler için görsel olarak daha doğru görüntüler ortaya koymaktadır. Görsel

3.18’te ve Görsel 3.19’da normallerin ve ışık kaynağının pozisyona göre oluşturduğu ışık değişimleri incelenebilir.



Görsel 3.18. Işıklendirma hakkında 1. örnek



Görsel 3.19. Işıklendirma hakkında 2. Örnek

3.11. Kamera Matrisleri Arası İnterpolasyon ve Render

Ara görüntülerin sentezlenebilmesi için temel resimlerin çekimini yapan iki kameranın pozisyonları ve bakışları arasında bir geçiş sağlanması gereklidir. Ara kameraların transformasyon matrisleri hesaplanabilirse bu aradaki görüntüler şimdiye kadar hesaplanan veriler de kullanılarak oluşturulabilir [25-27]. Bunu başarmak için temel resimlerin çekildiği kamera matrislerini ara değerler bulunacak şekilde interpolate etmemiz gerekmektedir.

Ara kamera matrislerinin bulunması işlemi denklem 3.4'te verilmektedir. Burada R kameranın dönüş matrisidir ve 3x3 lük bir formdadır. T ise 3x1 lik bir pozisyon bilgisidir. 1 indisli değişkenler birinci kameraya, 2 indisli değişkenler ise 2. kameraya ait değerleri belirtir. T 0 ila 1 arasında bir değer olup iki kamera arasında bulunmak istenen ara kameranın kamera 1 e ne kadar yakın olacağını belirtir zaman değeridir.

$$\begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & T_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + t * \left(\begin{bmatrix} R_2 & T_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R_1 & T_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \right) \quad (3.4)$$

$t: [0, 1]$

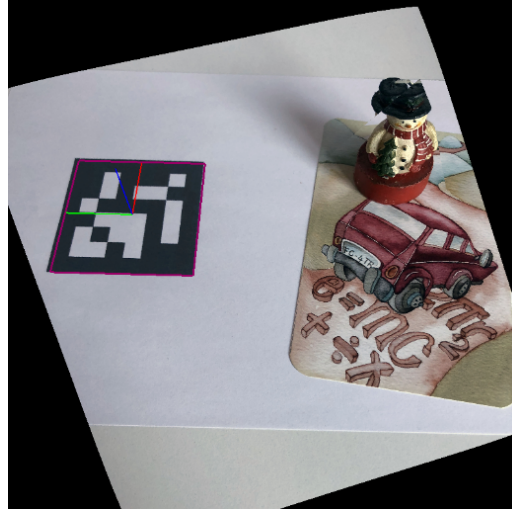
Bu denklem aracılığı ile hesaplanacak ara matris değerleri kullanıldığında iki kamera arasında geçiş sağlanarak yeni renderlar oluşturulabilir (Görseller 3.[20-25]).



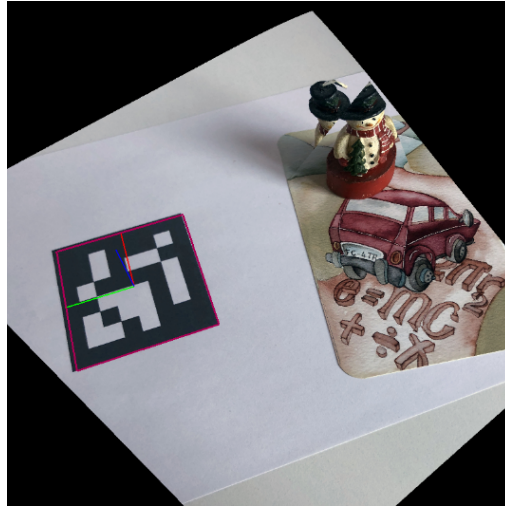
Görsel 3.20. $t=0$ için hesaplanmış kamera matrisi ile sentezlenmiş görüntü



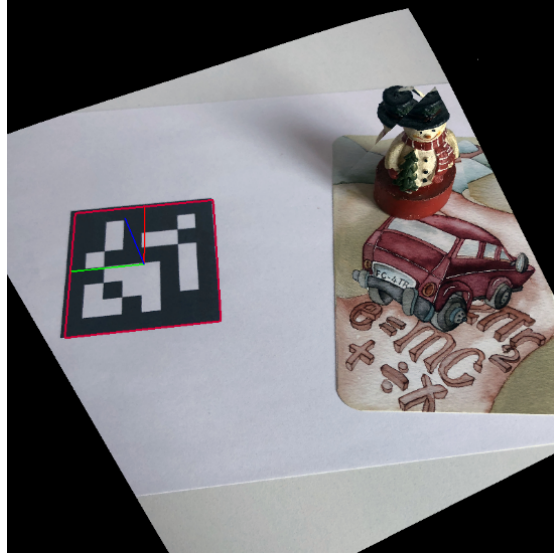
Görsel 3.21. $t=0.15$ için hesaplanmış kamera matrisi ile sentezlenmiş görüntü



Görsel 3.22. $t=0.35$ için hesaplanmış kamera matrisi ile sentezlenmiş görüntü



Görsel 3.23. $t=0.65$ için hesaplanmış kamera matrisi ile sentezlenmiş görüntü

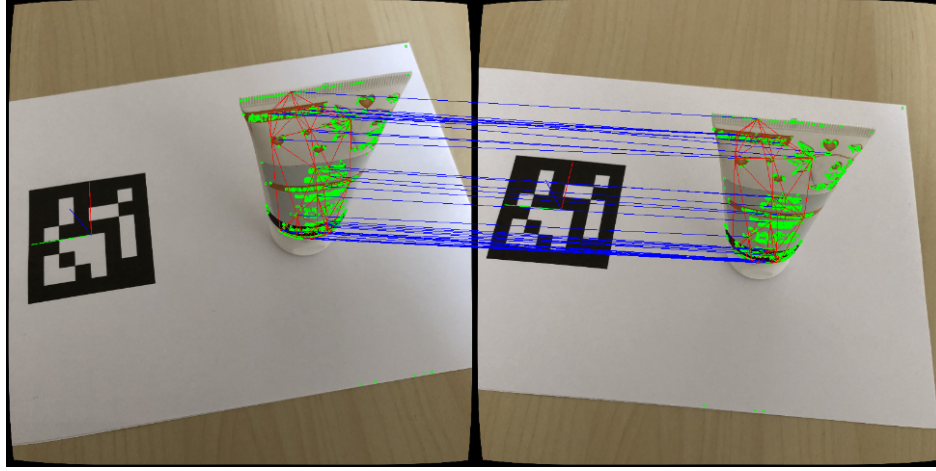


Görsel 3.24. $t=0.85$ için hesaplanmış kamera matrisi ile sentezlenmiş görüntü

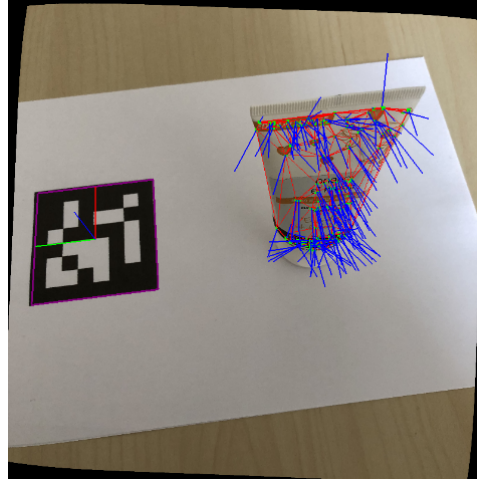


Görsel 3.25. $t=1$ için hesaplanmış kamera matrisi ile sentezlenmiş görüntü

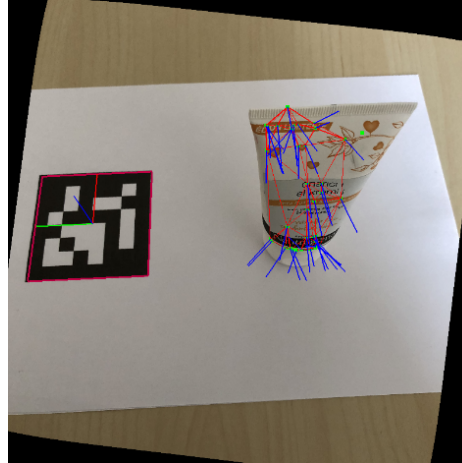
4. ÇALIŞMADAN GÖRSEL ÖRNEKLER



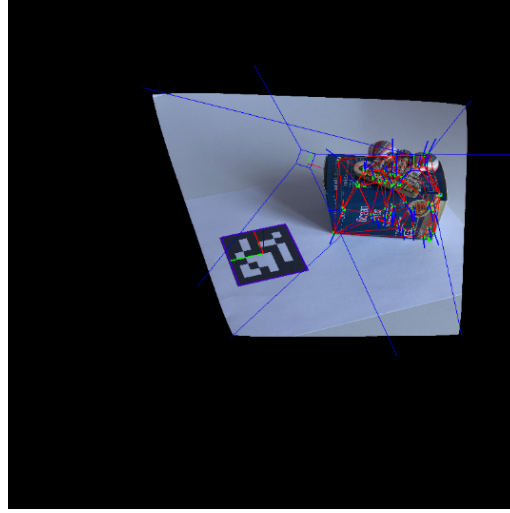
Görsel 3.26. Deney seti 2 için BRISK anahtar bulma ve BF eşleştirme sonucu



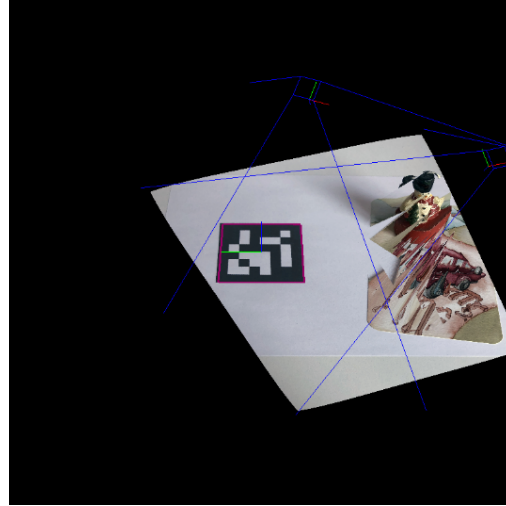
Görsel 3.27. Deney seti 2 için AKAZE+BF ile oluşturulmuş ara imge üzerine yüzey ve normal bilgisi



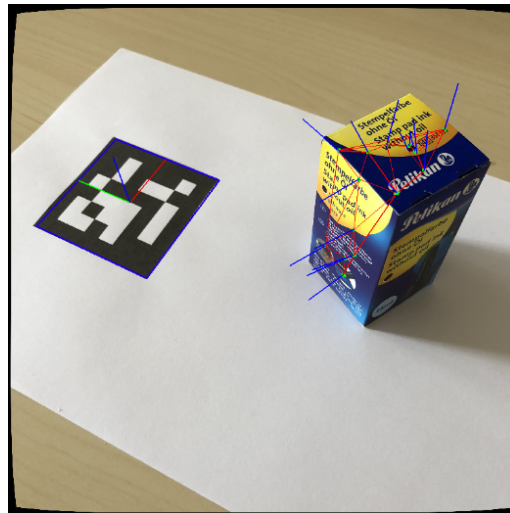
Görsel 3.28. Deney seti 2 için BRISK+BF ile oluşturulmuş ara imge üzerine yüzey ve normal bilgisi



Görsel 3.29. Deney seti 3 için AKAZE+FLANN ile oluşturulmuş render üzerine yüzey-normal bilgisi



Görsel 3.30. Deney seti 4 için SURF+BF ile ortaya çıkan hatalı eşleşme bozulmaları



Görsel 3.31. Deney seti 4 için AKAZE+FLANN ile oluşturulmuş render üzerine yüzey-normal bilgisi

5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu bölümde çalışma ile ilgili yapılanlar hakkında sonuç değerlendirmesini, farklı fikirleri ve zenginleştirici çalışma önerilerini bulabilirsiniz.

5.1. Sonuç

Çalışma çıkış noktasındaki düşünceye ve hedefine ulaşmıştır. Başlangıçtaki düşünce temel olarak iki ana resimden farklı ara resimlerin sentezlenmesiydi. Varılan noktada ara resimlerin oluşturulabildiğini ve mümkün olduğu kadar görsel olarak zenginleştirildiğini örnek çıktılarından ve canlı sunum sırasındaki sonuçlardan görüyoruz. Her ne kadar hedeflenen çıktıya ulaşılmış olsa da tartışma ve öneriler bölümünde de okunabileceği üzere yaratılan bu sistemin çok daha iyi seviyeye gelerek daha iyi sonuçlar üretmesi, daha çeşitli objelerle ve ortamlarda çalışabilmesi ve daha az hata oranıyla çalışabilmesi için üzerine yeni geliştirmeler yapmak gerekir.

5.2. Tartışılan Konular

Çalışma üzerine yapılan tartışmalarda genellikle kameralardan veri toplanamayan alanlar hakkında daha iyi ne yapılabilir veya yapılabilirdi konusu öne çıkmıştır. Genel olarak oluşturulan 3 boyutlu model dışında kalan alanın resim bilgisi bir kameranın projeksiyonundan oluşturulduğu için ara kamera bakışlarında 3 boyutlu bilgi bulunamamış bölgelerde perspektif bozulması durumu gözlenmektedir. Oluşturulan yeni görüntülerde gerçekçiliği en çok bozan durum bu olduğundan nasıl düzeltilebileceği konusu tartışılmıştır. İki kamerada da görülmeyen alanların nasıl doldurulabileceği veya farklı kamera projeksiyonlarındaki bilgilerin nasıl birleştirilebileceği gibi konular daha iyi bir sonuç geliştirme amacıyla tartışılarak yeni öneriler getirilmiştir. Bilinmeyen ve toplanan veri alanının dışında kalan bölümlere extrapolasyon yöntemiyle veri yaratma konusu da değerlendirilmiştir.

Projeksiyon bozulmaları dışında seçilen anahtar nokta bulma algoritmalarının alternatiflerinin neler olabileceği ve farklı anahtar nokta bulma yöntemlerinin hibrit bir şekilde kullanılıp kullanılamayacağı konuları tartışmaya açılmıştır. Bunların yanı sıra

tartışmalarda gölgelendirme, ışıklandırma ve rendering gibi konulara da değinilerek çeşitli öneriler üzerinde ortak görüşlere ulaşılmıştır.

5.3. Öneriler ve Geliştirilebilirlik

Çalışmanın sunumu sırasındaki tartışmalar, sorular ve fikir alışverişi sırasında çeşitli öneriler ortaya çıkmıştır. Genellikler görüntü iyileştirme ve sistemi hızlandırma konularında çıkan bu fikirler ilerleyen aşamalarda sistemin geliştirilmesi ve zenginleştirilmesi amacıyla uygulanacaktır.

Önerilerden ilki farklı anahtar nokta bulma yöntemlerinin birleştirilerek anahtar noktaların çeşitlendirilmesinin fayda sağlayacağı konusunda ortaya çıkmıştır. Bilindiği üzere anahtar bulma algoritmaları kendilerine özgü yöntemlerle resimdeki bir noktanın özel olup olmadığını seçer. Örneğin bir yöntemde nokta eğer bir köşe çizgisi gösterdiğinde anahtar olarak seçilirken başka bir yöntem noktanın etrafında yumuşak yuvarlak bir renk dağılımı olduğuna onu anahtar olarak belirleyebilir. Bu durumda sadece bir anahtar nokta seçme yöntemi kullanılması yöntemine göre farklı verilerin kaçırılmasına neden olabilir. Bu sebepten farklı yöntemlerin birleştirilmesinin anlamlı olacağı önerilmiştir. Öneri doğru olsa da farklı anahtar nokta bulma algoritmalarının farklı tanımlayıcılar oluşturacağı ve bunların ileriki aşamalarda eşleştirilmesi konusunda da hibrit veya özel eşleştirici algoritmalar yazılması gerekeceği göz önünde bulundurulmalıdır. Ek çalışma konuları çıkartsa da bu öneri iyileştirme açısından anlamlıdır.

Sonraki öneri ise nokta eşleştirme algoritmalarının çıktılarındaki hatalarla ilgilidir. Tablo 3.6’te algoritmaların çıkarttığı eşleşmelerdeki hata oranı görülmektedir. Bu hatalar az da olsa çevreye interpolasyon yöntemiyle yayıldıkları için çıktı görüntüsünde çok geniş bir alanı bozabilmektedir. Bu noktalardaki eşleşmelerin doğruluğunun RANSAC algoritması ile sağlamasının yapılması ve eşleşme hatalarının azaltılarak görüntünün iyileştirilebileceği önerilmiştir. Fikrimce öneri denemeye değer olsa da 3 boyutlu sahne modelinin tahminleme ve interpolasyon ile oluşturulmasından dolayı başarının ne kadar iyi olacağı konusunda düşüncelerim bulunmaktadır.

Bir diğer öneri perspektif bozulmaları konusunda iki kamera resminin birleştirilmesi, kameralardan ortak görülen/görülmeyen alanların ayrıştırılıp hangi alanlarda kesin görüntünün elde olduğunun bulunmasıdır. Kısaca, kamera bakış açılarının

kesişimleri ve modele göre hata riski barındırabilecek alanların segmente edilmesidir. Bu şekilde sonuç çıktıda hata oluşmuş olabilecek bölgeler ayrı ele alınabilir ve o alanlara yoğunlaşabilir. Aynı şekilde hatasız alanlar da ayrıştırılmış olur ve o kısımların sonraki işlemlerde bozulması engellenebilir.

Perspektif bozulmalardaki veya bilgi alınamayan ve bilgi toplanabilmiş alanın tamamen dışında kalan görüntü bölgelerine extrapolasyon yöntemi ile ulaşım iyileştirmelerde gerçekleştirmek bir diğer öneri olmuştur. Bu fikirde deneyip sonuçları görsel olarak değerlendirilebilecek önerilerdendir.

Kameraların pozisyonlarını bulma konusunda kullandığımız marker karelerinin ortadan kaldırılması için çalışma yapılması da iyileştirici önerilerden biridir. Öneri aslında kameraların sabit olduğu ortamlar için yapılmış olsa da hareketli olduğu ortamlarda da marker yerine geçebilecek sahnedeki sabit bir desenin marker olarak kullanılması fikrini ortaya çıkarmıştır. Bu şekilde daha estetik ve gerçek hayata yakın sonuçlar üretilebilecektir.

Çalışma konusunda son öneriler render işlemi konusunda olmuştur. Işıklandırma gibi gölgelendirmenin de sisteme gerçekçilik katacağı ve bu nedenle uygulanması gerektiği düşünülmektedir. Yine benzer konuda OpenGL gibi gerçek zamanlı ve poligon bazlı render sistemlerine alternatif olarak foto gerçekçi kaplama yapan render motorlarının sisteme uyarlanıp görsel çıktının mükemmelleştirilmesi bir diğer düşünce olmuştur.

KAYNAKÇA

- [1] Duane, C. B. (1971). Close-range camera calibration. *Photogramm. Eng*, 37(8), 855-866.
- [2] Zhang, Z. (2000). A flexible new technique for camera calibration. *IEEE Transactions on Pattern Analysis And Machine Intelligence*, 22.
- [3] Bay, H., Tuytelaars, T., & Van Gool, L. (2006, May). Surf: Speeded up robust features. *In European Conference on Computer Vision*, (pp. 404-417). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [4] Mikolajczyk, K., Schmid, C. (2003). A performance evaluation of local descriptors. *CVPR*, vol. 2, pp. 257–263
- [5] Heinly, J., Dunn, E., & Frahm, J. M. (2012, October). Comparative evaluation of binary features. *In European Conference on Computer Vision*, (pp. 759-773). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [6] Hartley, R., & Zisserman, A. (2003). Multiple view geometry in computer vision. *Cambridge University Press*, Cambridge, UK
- [7] Alcantarilla, P. F., Bartoli, A., & Davison, A. J. (2012, October). KAZE features. *In European Conference on Computer Vision* (pp. 214-227). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [8] Leutenegger, S., Chli, M., & Siegwart, R. (2011). BRISK: Binary robust invariant scalable keypoints. *In 2011 IEEE international conference on computer vision (ICCV)* (pp. 2548-2555).
- [9] Rublee, E., Rabaud, V., Konolige, K., & Bradski, G. R. (2011, November). ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF, *ICCV*, (Vol. 11, No. 1, p. 2).
- [10] Lowe, D. G. (1999, September). Object recognition from local scale-invariant features, *ICCV*, (Vol. 99, No. 2, pp. 1150-1157).
- [11] Zhang, Z. (1996, August). On the epipolar geometry between two images with lens distortion. *In Proceedings of 13th International Conference on Pattern Recognition* (Vol. 1, pp. 407-411), IEEE.
- [12] Zhang, Z. (1998). Determining the epipolar geometry and its uncertainty: A review. *International Journal Of Computer Vision*, 27(2), 161-195.

- [13] Fryer, J. G., & Brown, D. C. (1986). Lens distortion for close-range photogrammetry. *Photogrammetric Engineering And Remote Sensing*, 52(1), 51-58.
- [14] Fitzgibbon, A. W. (2001, December). Simultaneous linear estimation of multiple view geometry and lens distortion. *In Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001* (Vol. 1, pp. I-I). IEEE.
- [15] Kahl, F., Agarwal, S., Chandraker, M. K., Kriegman, D., & Belongie, S. (2008). Practical global optimization for multiview geometry. *International Journal of Computer Vision*, 79(3), 271-284.
- [16] Hartley, R., & Kahl, F. (2007, November). Optimal algorithms in multiview geometry. *In Asian conference on computer vision* (pp. 13-34). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [17] Hartley, R. I., & Sturm, P. (1997). Triangulation. *Computer vision and image understanding*, 68(2), 146-157.
- [18] Lee, D. T., & Schachter, B. J. (1980). Two algorithms for constructing a Delaunay triangulation. *International Journal of Computer & Information Sciences*, 9(3), 219-242.
- [19] OpenCV 3.2 sürümüne ek olarak gelen ArUco kütüphanesi kamera kalibrasyon dokümanı ve resimleri, https://docs.opencv.org/3.2.0/db/da9/tutorial_aruco_board_detection.html (Erişim tarihi: 10.07.2019)
- [20] Kamera projeksiyon matrislerinin gösterimi içerir online doküman, Geometric Framework for Vision I, Single View and Two-View Geometry, Andrew Zisserman, Robotics Research Group, University of Oxford, http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/EPSRC_SSAZ/node3.html (Erişim tarihi: 10.07.2019)
- [21] OpenCV 2.4 sürümüne ait kamera kalibrasyon denklemleri ve lens bozunması görselleri, https://docs.opencv.org/2.4/modules/calib3d/doc/camera_calibration_and_3d_reconstruction.html

(Erişim tarihi: 10.07.2019)

- [22] Kamera lens bozulması örnek görselleri ve düzeltme denklemleri içeren online doküman, Shawn Becker, MIT Media Lab, <http://alumni.media.mit.edu/~sbeck/results/Distortion/distortion.html>

(Erişim tarihi: 10.07.2019)

- [23] Epipolar geometri konusunda wikipedia sayfası ve görselleri, https://en.wikipedia.org/wiki/Epipolar_geometry

(Erişim tarihi: 10.07.2019)

- [24] Delaunay algoritması görseli, Bahar 2016 Rob Bruce'a ait CS-161 dersi projesi, San Jose State Üniversitesi, http://www.cs.sjsu.edu/~bruce/fall_2016_cs_160_lecture_delaunay_triangles.html (Erişim tarihi: 10.07.2019)

- [25] Angel, E. (1997). Interactive Computer Graphics: A top-down approach with OpenGL (Vol. 2). Addison-Wesley.

- [26] Shreiner, D., Sellers, G., Kessenich, J., & Licea-Kane, B. (2013). OpenGL programming guide: The Official guide to learning OpenGL, version 4.3. Addison-Wesley.

- [27] Wright Jr, R. S., Haemel, N., Sellers, G. M., & Lipchak, B. (2010). OpenGL SuperBible: comprehensive tutorial and reference, Pearson Education.